



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Vej- & Trafikteknik

Udvalgte Opgaver

Bolet, Lars

Publication date:
2015

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Bolet, L. (2015). *Vej- & Trafikteknik: Udvalgte Opgaver*. (2. udg.) Department of Civil Engineering, Aalborg University. DCE Lecture notes Nr. 35

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



Vej- & Trafikteknik Udvalgte Opgaver

Lars Bolet



Aalborg Universitet
Institut for Byggeri og Anlæg
Trafikforskningsgruppen

DCE Lecture Notes No. 35

Vej- & Trafikteknik – Udvalgte Opgaver

Lars Bolet

Videnskabelige publikationer ved Institut for Byggeri og Anlæg

Technical Reports anvendes til endelig afrapportering af forskningsresultater og videnskabeligt arbejde udført ved Institut for Byggeri og Anlæg på Aalborg Universitet. Serien giver mulighed for at fremlægge teori, forsøgsbeskrivelser og resultater i fuldstændig og uforkortet form, hvilket ofte ikke tillades i videnskabelige tidsskrifter.

Technical Memoranda udarbejdes til præliminær udgivelse af videnskabeligt arbejde udført af ansatte ved Institut for Byggeri og Anlæg, hvor det skønnes passende. Dokumenter af denne type kan være ufuldstændige, midlertidige versioner eller dele af et større arbejde. Dette skal holdes in mente, når publikationer i serien refereres.

Contract Reports benyttes til afrapportering af rekvireret videnskabeligt arbejde. Denne type publikationer rummer fortroligt materiale, som kun vil være tilgængeligt for rekvirenten og Institut for Byggeri og Anlæg. Derfor vil Contract Reports sædvanligvis ikke blive udgivet offentligt.

Lecture Notes indeholder undervisningsmateriale udarbejdet af undervisere ansat ved Institut for Byggeri og Anlæg. Dette kan være kursusnoter, lærebøger, opgavekompendier, forsøgsmanualer eller vejledninger til computerprogrammer udviklet ved Institut for Byggeri og Anlæg.

Theses er monografier eller artikelsamlinger publiceret til afrapportering af videnskabeligt arbejde udført ved Institut for Byggeri og Anlæg som led i opnåelsen af en ph.d.- eller doktorgrad. Afhandlingerne er offentligt tilgængelige efter succesfuldt forsvar af den akademiske grad.

Latest News rummer nyheder om det videnskabelige arbejde udført ved Institut for Byggeri og Anlæg med henblik på at skabe dialog, information og kontakt om igangværende forskning. Dette inkluderer status af forskningsprojekter, udvikling i laboratorier, information om samarbejde og nyeste forskningsresultater.

© Aalborg Universitet

Udgivet 2015 af
Aalborg Universitet
Institut for Byggeri og Anlæg
Sofiendalsvej 11,
DK-9200 Aalborg SV, Danmark

2. udgave
Trykt i Aalborg på Aalborg Universitet

ISSN 1901-7286
DCE Lecture Notes No. 35

INDHOLDSFORTEGNELSE

Indholdsfortegnelse.....	5
Indledning.....	7
Trafikteknik	9
Trafiksikkerhed	15
Trafikplanlægning	17
Vejgeometri.....	23
Belægningsdimensionering	41
Opgavesvar	55
Appendiks – SI-systemet.....	61
Appendiks – Notation.....	65
Appendiks – Det græske alfabet.....	67



INDLEDNING

Udvalgte Opgaver har to formål. For det første at give de studerende mulighed for at træne løsning af opgaver i basale problemstillinger inden for vej- og trafikfagene. For det andet at give de studerende en idé om omfang og niveau på de opgaver, som de kan blive stillet overfor ved skriftlig eksamination i Aalborg Universitets kursus Vej- og Trafikteknik.

Opgaverne stammer dels fra øvelser, der er gennemført i kurset Vej- og Trafikteknik, dels fra skriftlige eksamener i kurset. Opgaver som stammer fra eksamenssæt er mærket »O« (ordinær eksamen) eller »R« (reeksamen) og pågældende år. Nogle eksamensopgaver er medtaget *in extenso*; andre er delt, så hver opgave alene indeholder et enkelt eller nogle få eksamensspørgsmål. Som hovedregel er eksamensopgaverne gennemset og om nødvendigt opdateret, så de relaterer sig til de vejregler, der gælder på udgivelsestidspunktet. Dette har været nødvendigt, da de danske vejregler grundet revisioner er ændret løbende. Opdaterede og delte opgaver er mærket med en rød *dagger* »†«

Til de opgaver, som er mærket med en rød *asterisk* »*«, er resultat angivet bagerst. Resultatet er medtaget for at give den studerende mulighed for at kontrollere sin egen gennemregning. Der angives ikke modelløsninger til opgaverne og følgelig ej heller besvarelse af de opgaver, kræver et tekstsvar.

Opgaverne er præsenteret tematisk. Bemærk at temaerne, der optræder, ikke er udtømmende for pensum. Bemærk også, at pensum kan variere fra år til år, og at dette kan afspejle sig i afgrænsningen af eksamenssættets opgaver.

Eksamen i vej- og teknik har normalt været en individuel, skriftlig prøve af fire timers varighed. Ved prøven har det normalt været gældende, at den studerende må anvende alle hjælpemidler. Prøven har bestået af et antal opgaver, der alle bør løses. De enkelte opgaver har indgået med forskellig vægt ved bedømmelsen af eksamensbesvarelsen; vægten har været angivet i opgavesættet.

Ved eksamen skal den studerende sætte sig ind i og ubetinget efterleve de formelle krav, der stilles. Tilsidesættes disse krav, vil eksamensbesvarelsen, eller dele heraf, ikke indgå som afleveret ved bedømmelsen.

Ω

I denne anden udgave af *Udvalgte Opgaver* er enkelte trykfejl rettet i forhold til første udgave, DSE Lecture Notes No. 31 fra 2014.

Udgaven rummer endvidere opgaver fra eksamenssættene primo 2015.

TRAFIKTEKNIK

Opgave 1. * Trafikbegreber – 0-2014 (15 %)

Når man skal angive gennemsnitshastigheden for flere køretøjer, skelner man mellem to begreber:

- Strækningsmiddelhastigheden, V_S : Gennemsnitlig hastighed for alle køretøjer, der i et givet øjeblik kører over en given strækning. Størrelsen kaldes i »Vej- og Trafikteknisk Ordbog« (2004) strækningshastigheden.
- Tidsmiddelhastigheden, V_T : Gennemsnitlig hastighed for alle køretøjer, der passerer et givet tværprofil i et givet tidsinterval. Størrelsen kaldes også snitmiddelhastigheden, eller i »Vej- og Trafikteknisk Ordbog« (2004) blot middelhastigheden.

På en kortere, ensartet vejstrækning, A-B, er trafikken stationær, dvs. at antallet af køretøjer, der kører med en vis hastighed, ikke ændres. I snit A er det fundet, at der i løbet af en time passerer 40 biler med hastigheden 60 km/h og 40 biler med hastigheden 120 km/h. Der kører ikke andre køretøjer på strækningen.

A – *Hvor mange biler passerer snit B i løbet af samme time, og hvordan fordeler disse bilers hastighed sig?*

B – *Beregn tidsmiddelhastigheden, V_T , i snit A. Angiv resultatet i hele km/h.*

C – *Hvis strækningen A-B er 15 km lang, hvor mange biler kan man forvente befinder sig på strækningen på et givet tidspunkt, og hvordan fordeler disse bilers hastighed sig?*

D – *Beregn strækningsmiddelhastigheden, V_S , for strækningen A-B. Angiv resultatet i hele km/h.*

Det kan vises, at der altid gælder, at $V_T \geq V_S$.

E – *Hvad skal være opfyldt, for at det gælder, at $V_T = V_S$.*

Opgave 2. * Trafikbegreber – 0-2015† (2 %)

Trafikmængden på en given vej er pr. primo 2013 opgjort til 2000 personbilenheder pr. døgn. Beregn trafikmængden pr. primo 2025, når det antages, at trafikken stiger med 1,6 % pr. år efter en retlinet udvikling.

a: 2384 personbilenheder. **b:** 2416 personbilenheder. **c:** 2419 personbilenheder. **d:** 2432 personbilenheder. **e:** 2458 personbilenheder.

Opgave 3. * Trafikbegreber – 0-2015† (2 %)

I en tilfart til et kryds er der 1000 personbilenheder. Af køretøjerne er 8 % lastbiler og 2 % sættevognstog. Resten er personbiler – der er hverken cykler eller knallerter i krydset. Beregn antal personbiler, når der anvendes følgende ækvivalenter: 1,0 for personbiler, 1,5 for lastbiler, 2,0 for sættevognstog.

a: 840 personbiler. **b:** 849 personbiler. **c:** 900 personbiler. **d:** 943 personbiler. **e:** 1160 personbiler.

Opgave 4. * Strækningsskapacitet – O-2011† (2 %)

Hvad er idealkapaciteten i én retning for en 2-sporet vej med en køresporsbredde på 3,5 meter?

a: 1.500 pe/h/retning. **b:** 1.700 pe/h/retning. **c:** 1.900 pe/h/retning. **d:** 2.100 pe/h/retning.

Opgave 5. * Strækningsskapacitet – O-2011† (2 %)

Hvordan er belastningsgraden for en vejstrækning defineret?

a: Som forholdet mellem antallet af cyklister og antallet af fodgængere. **b:** Som forholdet mellem trafikintensiteten og vejstrækningens kapacitet. **c:** Som forholdet mellem antallet af tunge køretøjer og antallet af personbiler. **d:** Ved $\text{Æ}10$ -belastningen.

Opgave 6. * Strækningsskapacitet – R-2011† (30 %)

En længere, ældre bro har én kørebane med to modsatrettede vognbaner adskilt af dobbelte spærrelinjer og med en samlet køresporsbredde på $2 \times 2,8$ meter.

Der er ingen fri sidebredde.

Broen kan henføres til stigningskategori I. Det antages, at der er 8 % store køretøjer af type a (5,8-12,0 m lange), og at der er 3 % store køretøjer af type b (over 12 m lange)

A – Bestem broens kapacitet, N_{maks} .

I 1969 er målt trafikintensiteter på indtil 2.718 biler pr. time på broen.

B – Angiv hvilke vilkår, der må forudsættes at være til stede for at opnå en så stor overskridelse af den beregnede kapacitet.

Opgave 7. * Krydskapacitet – O-2011† (2 %)

Hvilke af nedenstående forhold indgår **IKKE** i kapacitetsberegningen for et vigepligtsreguleret kryds?

a: Trafikintensiteten i de overordnede strømme. **b:** Hældningerne på krydsets tilfartsspor. **c:** Hastigheden på den overordnede strøm. **d:** Sandsynligheden for køfri tilstand.

Opgave 8. * Krydskapacitet – O-2012† (2 %)

I modellen for kapaciteten af et kryds' tilfartsspor indgår størrelsen *kritisk interval*. Beskriv hvad det kritiske interval udtrykker.

Opgave 9. * Krydskapacitet – O-2012† (2 %)

I modellen for kapaciteten af et kryds' tilfartsspor indgår størrelsen *passagetiden*. Beskriv hvad passagetiden udtrykker.

Opgave 10. * Krydskapacitet – O-2012† (2 %)

Hvad betyder et kort henholdsvis et langt *kritisk interval* for kapaciteten af et kryds' tilfartsspor?

Opgave 11. * Krydskapacitet – O-2012† (20 %)

Den tosporede vej Sønderhedevej er den sydlige tilfart til en ét-sporet rundkørsel. Trafikken i cirkulationssporet foran Sønderhedevej – den overordnede strøm – er i morgenspidstimen talt til 913 pe/h (personbilenheder per time). Mængden af udkørende trafik i hosliggende frafart er målt til 393 køretøjer i spidstimen.

Rundkørslen er beliggende i landområde. Der er registreret så få cyklister og fodgængere i rundkørslen, at deres indflydelse på kapacitet og fremkommelighed er så begrænset, at der kan ses bort fra dem i en vurdering af kapaciteten af Sønderhedevejs tilfartsspor til rundkørslen.

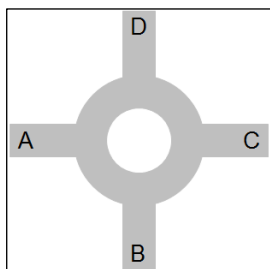
A – Estimér Sønderhedevejs tilfartsspors kapacitet N_{Max} i spidstimen. Angiv svaret i hele pe/T.

Trafikken i Sønderhedevejs tilfartsspor er i samme spidstime talt til 357 pe/T.

B – Bestem Sønderhedevejs tilfartsspors belastningsgrad, B , i spidstimen. Angiv resultatet med to decimaler.

C – Beregn middelforsinkelsen, t_m , per køretøj for Sønderhedevejs tilfartsspor i spidstimen (kapaciteten kan omregnes fra pe/h (personbilenheder per time) til kt/h (køretøjer per time) ved at gange pe/h-kapaciteten med 0,94). Angiv resultatet i hele sekunder.

D – Hvor tilfredsstillende vil du betegne trafikafviklingen i Sønderhedevejs tilfartsspor i spidstimen?



Opgave 12. * Krydskapacitet – O-2013† (28 %)

I en 4-grenet rundkørsel er der, jævnfør hosstående skitse, følgende trafikstrømme i spidstimen, idet P angiver personbiler og L angiver lastbiler, og idet – angiver, at der ikke optræder trafik:

	Til vejgren A		Til vejgren B		Til vejgren C		Til vejgren D	
	P	L	P	L	P	L	P	L
Fra vejgren A	–	–	100	20	120	15	80	10
Fra vejgren B	80	15	–	–	40	10	60	10
Fra vejgren C	150	20	50	5	–	–	100	10
Fra vejgren D	90	15	70	10	120	10	–	–

A – Beregn antal personbiler og antal lastbiler i spidstimen foran hver enkelt af de fire tilfarter. Angiv resultaterne i heltal uden decimaler.

B – Omregn de fundne køretøjsmængder i tilfarterne i spidstimen til personbilenheder (pe/h), idet omregningsfaktoren er 1,0 for personbiler og 1,5 for lastbiler. Angiv resultatet i tal med én decimal.

C – Hvis en af tilfarterne har en stigning på 30 % frem mod rundkørslen vil det så nedsætte eller øge kapaciteten i den pågældende tilfart? Begrund svaret.

Der kan i rundkørslen regnes med følgende kritiske intervaller og passagetider:

	Kritisk interval, τ	Passagetid, δ
Personbiler	6,5 s	3,5 s
Lastbiler	8,0 s	5,0 s

D – Beregn det vægtede kritiske interval, τ , og den vægtede passagetid, δ , for tilfart A. Angiv resultaterne i sekunder med én decimal.

E – Beregn grundkapaciteten, G , for tilfart A. Der ses bort fra fodgængere, cyklister og trafikintensitet i frafart. Angiv resultatet i personbilenheder per time (pe/h) uden decimaler.

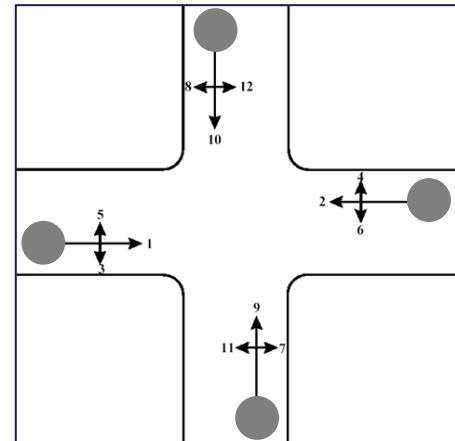
F – Beregn spidstimens belastningsgrad, B , for tilfart A. Angiv resultatet som decimaltal med to decimaler.

G – Beregn middelforsinkelsen, t_m , i spidstimen for tilfart A. Angiv svaret som sekunder per køretøj uden decimaler.

Opgave 13. * Krydskapacitet O-2014† (15 %)

I et firebenet, fuldt kanaliseret kryds på motortrafikvejen A-B er der i den venstresvingende trafikstrøm, trafikstrøm 5, i vejgren A (jævnfør nedenstående skitse), følgende trafik i spidstimen:

Køretøjskategori	Antal køretøjer
Person-/varebiler	200
Lastbiler/busser	10
Sætte- og påhængs-vognstog	5
Motorcykler/store knallerter	20



Trafikstrøm 5 har en stigning på 30 ‰ frem mod krydset. Afhængighed mellem køretøjskategori og længdegradienten fremgår af personbilækvivalenterne i nedenstående tabel. Mellem de anførte længdegradienter ekstrapoleres lineært. Cykler og knallerter har personbilækvivalenten 1,0.

Længdegradient af pågældende strækning	Køretøjskategori			
	Store knallerter og motorcykler	Person- og varevogne	Lastbiler og busser	Sætte- og påhængs-vognstog
Stigning 40 ‰	0,7	1,4	3,0	6,0
Stigning 20 ‰	0,6	1,2	2,0	3,0
Stigning 0 ‰	0,5	1,0	1,5	2,0
Fald 20 ‰	0,4	0,9	1,2	1,5
Fald 40 ‰	0,3	0,8	1,0	1,2

A – Beregn med 1 decimal antal personbilenheder i trafikstrøm 5.

B – Beregn med to decimaler omregningsfaktoren mellem personbilenheder og køretøjer i denne tilfart.

C – Angiv hvilke andre trafikstrømme i krydset, der har betydning for kapaciteten af trafikstrøm nr. 5.

Det kritiske interval i trafikstrøm 5 overfor personbiler er 5,5 sekunder og overfor cyklister 2,5 sekunder.

D – Angiv med 1 decimal det vægtede kritiske interval for trafikstrøm 5.

Opgave 14. * Krydskapacitet – O-2015† (4 %)

A – Du skal beregne kapaciteten i et prioriteret vejkryds. Dertil skal du bruge en række indgangsvariable. Blandt de fem svarmuligheder er der én variable, der ikke indgår i beregningen, mens

der til gengæld mangler en anden. Hvilken af de fem svarmuligheder skal ikke medtages i beregningen?

a: Antal spor i de enkelte tilfarter. **b:** Beregningsperiodens længde. **c:** Dimensionsgivende trafikintensiteter i hver enkelt trafikstrøm. **d:** Sidehældningen i den enkelte tilfart. **e:** Vigepligtsforholdene i krydset.

B – Hvilken af følgende fem mulige indgangsparameter mangler i opstillingen af nødvendige parametre i spørgsmål A?

a: Hastighedsbegrænsningen på krydsets primærvej. **b:** Køresporsbredden i den enkelte tilfart. **c:** Længdegradienten i den enkelte tilfart. **d:** Vejbelysningsklassen i krydset. **e:** Vejbelægningens friktionsegenskaber i den enkelte tilfart.

Opgave 15. * Krydskapacitet – 0-2015† (2 %)

I et industrikvarter er der målt en lastbilandel på 25 % i et prioriteret T-kryds. Af hensyn til et nærliggende kryds må kølængden ikke overstige 50 meter. Hvad er det maksimale antal køretøjer, der må være i køen op til dette kryds ved den angivne lastbilprocent, når man regner gennemsnitslængde til 6 m for en personbil og 15 m for en lastbil?

a: 4 køretøjer. **b:** 5 køretøjer. **c:** 6 køretøjer. **d:** 7 køretøjer. **e:** 8 køretøjer.

TRAFIKSIKKERHED

Opgave 16. * Uheldsforekomst – O-2011 (40 %)

For en 2-sporet vejstrækning er ÅDT opgjort til 3.300 køretøjer/døgn.

Strækningen er 4,2 kilometer lang, er en del af det overordnede vejnet og er uden cykelsti, men med randbebyggelse (ap-type 213, $a = 0,004090$, $p = 0,57$).

I 2009 er der observeret 6 uheld på vejstrækningen.

A – *Beregn den forventede uheldsforekomst per år for vejstrækningen.*

B – *Beregn 95 %-konfidensintervallet for den forventede uheldsforekomst ($b = 0,5$, $Z = 1,96$).*

C – *Beregn sandsynligheden for, at der i et givent år indtræffer 3 uheld på strækningen.*

D – *Sammenhold estimatet på den forventede uheldsforekomst med den observerede uheldsforekomst. Kan den observerede og den forventede uheldsforekomst afvige fra hinanden? Begrund dit svar.*

Opgave 17. * Uheldsforekomst – R-2012 (20 %)

For en given vejstrækning er årsdøgntrafikken fundet til 9.600 kt/døgn. Strækningen er 800 meter lang.

A – *Estimer ved hjælp af en uheldsmodel den forventede uheldsforekomst over en periode på 5 år for lokalitetstypen med den opgivne længde og ÅDT, idet det oplyses, at $a = 0,00166$ og $p = 0,59$. Angiv svaret med én decimal.*

På den aktuelle vejstrækning har politiet over de samme 5 år registreret 3 uheld.

B – *Hvad kan forklare, at den registrerede uheldsforekomst for lokaliteten adskiller sig fra den forventede uheldsforekomst for lokalitetstypen?*

Opgave 18. Uheldskategorisering – O-2013 (20 %)

A – *Beskriv forskellen mellem uheldsårsager og uheldsfaktorer.*

B – *Identificer uhelds- og skadesfaktorer i følgende uheldstekst:*

Mathilde på 19 år har lånt sin storebrors bil, der er en ældre Toyota uden airbags og med slidte bremses. Hun er på vej hjem en sen lørdag aften i oktober efter et skænderi med kæresten. Mathilde kører med en hastighed på 110 km/t på en lige landevej. Fra et skovbryn springer et kronvildt ud på vejen. Mathilde forsøger at undvige og bremse, men mister herredømmet over bilen. Hun rammer kronvildtet og fortsætter herefter ind i skovbrynet, hvor bilen kører ind i et træ. Mathilde ender fastklemt på førersædet i bilen og kvæstes alvorligt. Uheldet opdages 15 minutter senere af en bilist, der ikke kan førstehjælp. Mathilde ankommer til skadestuen 50 min efter uheldet er indtruffet.

C – *Placer faktorerne fra spørgsmål 2 i Haddons matrice.*

TRAFIKPLANLÆGNING

Opgave 19. * Planlægningsrammer – O-2011† (2 %)

Udfordringen i transportplanlægningen er at tilfredsstille efterspørgslen efter stigende mobilitet samtidig med, at transportsektorens miljøkonsekvenser reduceres. Hvilke af nedenstående forhold gør **IKKE** denne udfordring større?

a: Stigende BNP. **b:** Stigende pendling. **c:** Sikrere biler. **d:** Mere spredt bosætning.

Opgave 20. * Planlægningsrammer – O-2011† (2 %)

Hvilke af nedenstående udsagn er fejlagtig i forhold til at beskrive forholdene i transportsektoren i perioden fra år 2000 til i dag:

a: Stigende bilejerskab. **b:** Faldende antal trafikuheld. **c:** Stigende kollektiv trafik. **d:** Stigende byudvikling nær motorvejene.

Opgave 21. * Planlægningsrammer – O-2011† (2 %)

Hvilke af nedenstående virkemidler til brug i den kommunale trafikplanlægning har en kommune **IKKE** i dag?

a: Niveauet på den kollektive trafik. **b:** Bompeng. **c:** Parkeringsnormer. **d:** Retten til at fastlægge fremtidig anvendelse af arealer i byzone.

Opgave 22. * Planlægningsrammer – O-2011† (2 %)

Hvor mange tilskadekomster som følge af trafikuheld på det danske vejnet registrerer danske sygehuse og skadestuer årligt?

a: Ca. 10.000 tilskadekomne. **b:** Ca. 25.000 tilskadekomne. **c:** Ca. 45.000 tilskadekomne. **d:** Ca. 90.000 tilskadekomne.

Opgave 23. * Planlægningsrammer – O-2015† (2 %)

Med tanke på at vurdere hvorvidt det vil være muligt og nødvendigt at kræve anlæg af supplerende p-pladser i forbindelse med et kontorbyggeri i midten af et mindre bysamfund, skal der foretages en tælling af hvor efterspurgte bymidtens parkeringspladser allerede er. Hvornår vil du placere en sådan tælling?

a: En hverdagsmorgen, kl. 4-5. **b:** En hverdag, sidst på formiddagen. **c:** En lørdag omkring middag. **d:** En søndag i kirketiden. **e:** Under den lokale handelsstandsforenings høstmarked.

Opgave 24. * Planlægningsbegreb – O-2011† (2 %)

Hvilket af nedenstående definition på en vejs **planlægningshastighed** er korrekt?

a: Hastighedsgrænsen. **b:** Den hastighed man af hensyn til fremkommelighed, trafiksikkerhed og miljø ønsker, at førerne af personbiler overholder. **c:** Den hastighed man på baggrund af vejens klasse, randfunktion, trafikantgrupper, eksisterende vejforhold og trafikintensitet ønsker trafikanterne skal færdes på vejen med. **d:** Hastighedsgrænsen plus 20 km/t.

Opgave 25. Planlægningsrammer – O-2012 (30 %)

Beskriv transportsektorens vigtigste udfordringer frem mod 2030 og mulighederne for at håndtere dem. Begrund og underbyg din bevarelse.

Opgaveløsningen må maksimalt fylde 7000 tegn inklusive mellemrum.

Opgave 26. Planlægningsbegreb – R-2012 (25 %)

Beskriv de forskellige paradigmer, der har været for trafikplanlægningen i perioden fra 1960 til 1990, hvor den første udgave af vejreglen *Byernes Trafikarealer* kom. Beskriv herefter principperne for den funktionelle klassificering af vejnettet i vejreglen *Byernes Trafikarealer*, og beskriv endeligt hvordan det sikres, at biltrafikken opfører sig som forudsat i klassificeringen.

Besvarelsen må maksimalt fylde 4000 tegn inkl. mellemrum.

Opgave 27. Planlægningsbegreb – R-2013 (25 %)

Beskriv med dine egne ord principperne for den funktionelle klassificering af vejnettet i vejreglen *Byernes Trafikarealer*. Beskriv herefter, hvordan det sikres, at biltrafikken opfører sig som forudsat i klassificeringen.

Besvarelsen må højst fylde 3000 tegn inkl. mellemrum.

Opgave 28. Planlægningsbegreb – O-2014 (45 %)

Når man i en kommune skal udarbejde en trafikplan for en by, begynder man med at opstille en række forudsætninger for planen.

Eksempelvis kan der være vedtaget en anlægslov vedrørende en hovedlandevej mellem to punkter og forløbende i eller nær kommunen. Da en ny hovedlandevej vil påvirke trafikmønstret i byen,

er den en forudsætning for trafikplanen. Anlægslove besluttet af Folketinget, altså staten.

A – Nævn yderligere op til fem forskellige typer af forudsætninger og angiv ud for hver af de nævnte forudsætninger hvilken myndighed, der har fastsat forudsætningen (stat, region eller kommunen selv).

Når forudsætningerne for en trafikplan er på plads, er næste trin at få kortlagt eksisterende forhold for det område, som planen skal omfatte. I den sammenhæng må man også tage stilling til, hvordan de eksisterende forhold skal afrapporteres.

Eksempelvis er det relevant at kortlægge eksisterende biltrafikmængder, disse vil kunne beskrives ved på et kort at anføre ÅDT for de vigtigste veje.

B – Nævn op til fem andre eksempler på eksisterende forhold, som det kunne være relevant at kortlægge og forklar kort, hvordan kortlægningen af det enkelte forhold vil kunne afrapporteres.

Næste trin i udarbejdelsen af en trafikplan er opstilling af målsætninger for planen. Målsætninger kan være målbare eller ikke målbare. Opfyldelsen af nogle mål kan kommunen selv sikre; på andre mål vil også udefrakommende faktorer vil have betydning for, om målsætningen nås eller ej (fx andre myndigheders beslutninger eller blot den generelle samfundsudvikling).

Eksempelvis kan et mål være, at der i byen ikke må være længere end XXX meter i luftlinje til et bustoppested. Dette mål er målbart og kan eftervises fx ved opmåling på et kort. Da det er kommunen, der bestiller og betaler for den kollektive trafik hos det regionale trafikselskab, er det kommunen selv der kan sikre, at målsætningen nås. Et andet mål kunne være, at 50 % af turene til arbejde skal ske på cykel i år 2020. Målet er målbart og kan måles ved at spørge et repræsentativt udsnit af befolkningen om deres trafikvaner. Kommunen kan påvirke opfyldelsen; men det er trafikanterne selv, der afgør valg af transportmiddel.

C – Angiv op til fem andre eksempler på målsætninger i en trafikplan. Angiv for hver målsætning, om den er målbare eller ikke målbare. Hvis den er målbare angiv så, hvordan det kan måles om målsætningen nås. Angiv endelig for hver målsætning, om kommunen alene kan sikre, at målsætningen nås – hvis ikke, angiv da hvilke andre faktorer der vil have betydning for om målopfyldelsen.

Ideelt set er en trafikplan en samlet plan, der viser, hvordan trafikken ønskes afviklet for alle de trafikarter, der findes i byen. Planen indeholder fastlæggelse af trafikale strukturer, indsatser og konsekvenser. Planen starter med en række delplaner for de enkelte trafikarter.

D – *Nævn hvilke trafikarter, der bør udarbejdes delplaner for. Forklar herefter, hvordan man kommer fra delplanerne til den samlede plan.*

Et godt redskab i dette arbejde er en funktionel klassificering af vej og stinettet og en hastighedsklassificering af vejnettet.

E – *Forklar hvad disse to begreber står for, og hvordan de anvendes ved udarbejdelse af den samlede trafikplan for en by.*

I forbindelse med udarbejdelsen af den samlede trafikplan kan det være relevant at overveje, om trafiknettet for biltrafikken og trafiknettet for den lette trafik skal holdes adskilt (separeres) eller foregå på samme net (integreres).

F – *Forklar hvad de to begreber står for og angiv styrker og svagheder ved de to principper.*

Opgave 29. Planlægningsbegreb – R-2014 (30 %)

Den samlede trafikplan for en by består af en række delplaner for blandt andet biltrafik, cykeltrafik og kollektiv trafik. I denne opgave vil vi alene se på biltrafikken.

A – *Forklar hvilke funktionelle klasser, vi med tanke på biltrafikken opdeler vejene i. Forklar hvilken type biltrafik, vi med planen*

B – *Forklar dernæst hvilke hensyn, der indgår i afvejningen af hvilken funktionel klasse, den enkelte vej bør tilhøre.*

Efter den funktionelle klassificering skal vejene hastighedsklassificeres. Når en vej skal hastighedsklassificeres indgår overvejelser om sikkerhed, tryghed, fremkommelighed, luftforurening og støj i beslutningen om hvilken planlægningshastighed, der skal vælges for den enkelte vej.

C – *Forklar for hver af de fem områder hvordan det indgår i valget af planlægningshastighed.*

D – *Hvilke planlægningshastigheder anbefaler "Håndbog i Trafikplanlægning i Byer" for biltrafikken?*

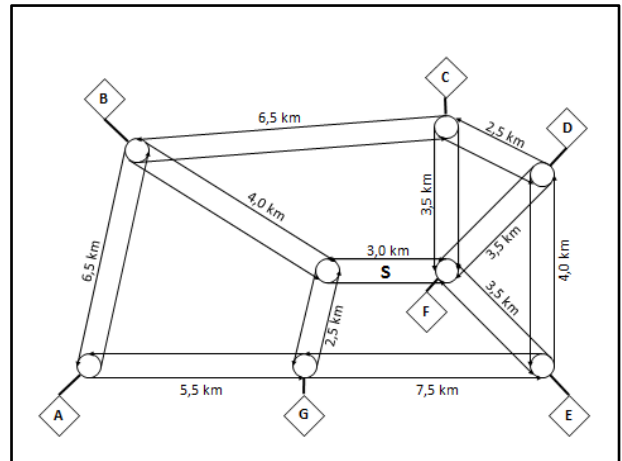
E – *Forklar hvad en trafikplans planlægningshastighed for den enkelte vej bruges til. Forklar endvidere hvordan kan det sikres, at en trafikplans planlægningshastighed også er den hastighed, som bilisterne kører med i virkeligheden.*

Opgave 30. * Planlægningsbegreb – O-2015 (20 %)

På omstående figur er vist et område, hvor man har opbygget en trafikmodel med 7 trafikzoner (A-G). Figuren viser, hvordan zonerne er ophængt i de 8 knuder på områdets vejnet. Længden af vejnettets strækninger er angivet.

A – Indtegn på figuren træet af ruter, der udgår fra knuden ved zone A, idet korteste rute mellem zonerne skal anvendes.

B – Betragt hele nettet og angiv ruterne i det rute-neg, der indeholder strækningen *S* på figuren, altså bundtet af korteste ruter, som indeholder denne strækning. Ruterne angives ved zonerne, der er knyttet til de knuder, som ruterne passerer, fx A-B-C.



Opgave 31. * Planlægningsbegreb – 0-2015† (2 %)

Hvad kalder man i forbindelse med trafikmodeller også et rute-bundt, der passerer en given strækning, og som udgør mængden af korteste ruter i træerne, som forbinder den enkelte zoneknode med alle øvrige zoneknuder i nettet?

a: Et (rute-)knippe. **b:** Et (rute-)neg. **c:** En (rute-)stok. **d:** Et (rute-)sæt. **e:** En (rute-)vifte.

VEJGEOMETRI

Opgave 32. * Kort og koordinater – O-2011† (2 %)

Hvilke af de følgende datatyper kan **IKKE** benyttes til at generere en digital højdemodel?

a: Højdekurver. **b:** Indmålte punkter (x,y,z). **c:** Ortofoto. **d:** Fladepolygoner.

Opgave 33. * Kort og koordinater – O-2011† (2 %)

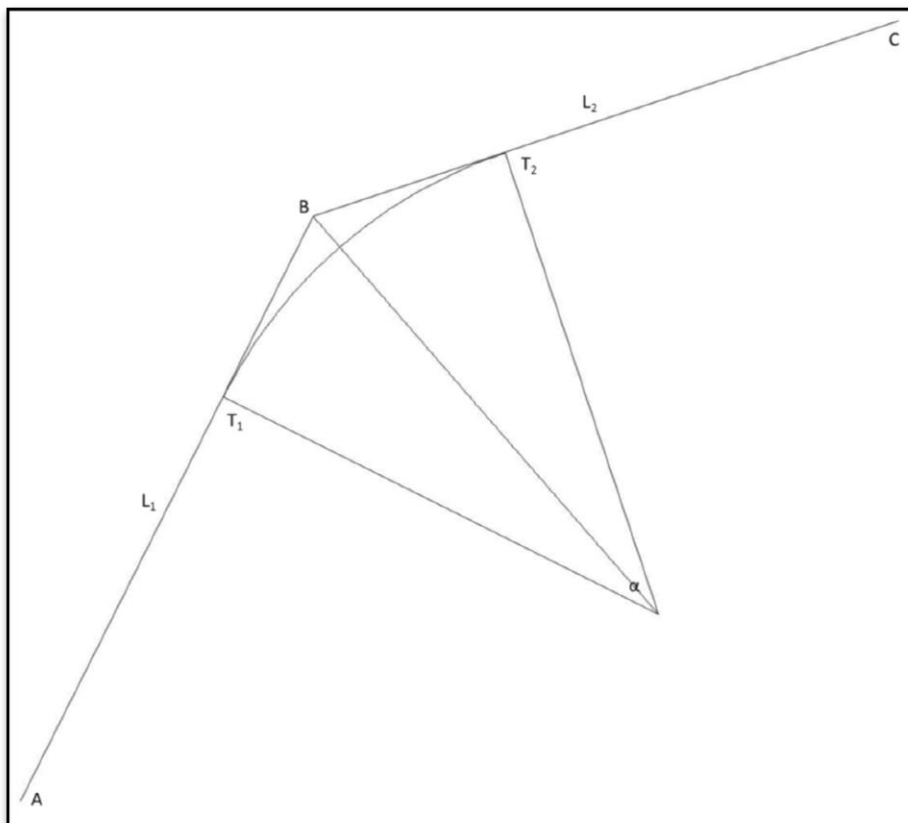
Hvilket af de følgende kortprodukter er et topologisk kort?

a: Matrikelkort. **b:** Kort10. **c:** Højdekort. **d:** Teknisk kort.

Opgave 34. * Kort og koordinater – O-2011 (20 %)

Af figuren nedenfor fremgår en konstruktion af en vejstrækning, der består af to rette linjestykker, $L_1 = |AB|$ og $L_2 = |BC|$, som er afrundet med en kurve med radius 500 m.

Koordinaterne for endepunkterne af linjestykkerne er, jævnfør



figuren:

A: (100,0, 100,0)
 B: (400,0, 700,0)
 C: (1000,0, 900,0)

A – Bestem længderne for linjestykkerne (L_1 , L_2) og cirkelbuen.

B – Bestem vejens stationering i tangenterne (T_1 , T_2) samt slutstationeringen i punktet C, når startstationen er 0 i punktet A.

Opgave 35. * Kort og koordinater – R-2011† (14 %)

Tilslutningsvinklen mellem en hovedvej og dens sidevej er $\gamma = 108,000^\circ$. Tilslutningskanterne ønskes udformet med tre cirkelbuer, hvor det skal gælde,

at forholdet $\alpha : \beta : \delta = 1 : 5,5 : 1$,

at forholdet $R_1 : R_2 : R_3 = 2,5 : 1 : 5,5$ og

at den mindste cirkelbue skal have radius $R_2 = 10,00$ meter.

A – Bestem vinklen, α , for den første cirkelbue i tilslutningskanten – angiv løsningen i grader ($180^\circ = \pi$ radianer) med 3 decimaler.

B – Bestem vinklen, β , for den anden cirkelbue i tilslutningskanten – angiv løsningen i grader ($^\circ$) med 3 decimaler.

C – Bestem vinklen, δ , for den sidste cirkelbue i tilslutningskanten – angiv løsningen i grader ($^\circ$) med 3 decimaler.

D – Bestem radius, R_1 , for den første cirkelbue i tilslutningskanten – angiv løsningen i meter med 2 decimaler.

E – Bestem radius, R_3 , for den sidste cirkelbue i tilslutningskanten – angiv løsningen i meter med 2 decimaler.

F – Bestem tangentlængden, $T_1 = |PA|$, fra skæringspunktet, P, mellem de to vejes begrænsningslinjer og til begyndelsespunktet, A, af den første cirkelbue i tilslutningskanten – angiv løsningen i meter med 2 decimaler.

Opgave 36. * Kort og koordinater – R-2011† (16 %)

En primærvej, »Hovedvej«, har – jævnfør hosstående principskitse – en retlinet linjeføring mellem station 9.500 og station 10.500. »Hovedvejen« har to vognbaner, som er begrænset af kantstene. Hver vognbane er $b_H = 3,50$ meter bred.

Sekundærvejen, »Sidevej«, er tilsluttet »Hovedvej« i højre side regnet i stationeringsretningen. »Sidevejs« vejmidte skærer vejmidten af »Hovedvejen« i »Hovedvejs« station 10.090. »Sidevej« har to vognbaner, som er begrænset af kantstene. Hver vognbane er $b_S = 2,75$ meter bred.

I det følgende betragtes alene den tilslutningskant, som et køretøj følger, når køretøjet kommer ad »Hovedvej« i stationeringsretningen og drejer til højre ad »Sidevej«. Tilslutningsvinklen er $\gamma = 108,000^\circ$, og tilslutningskanten er udformet som tre cirkelbuer med vinklerne $\alpha = 14,400^\circ$, $\beta = 79,200^\circ$ og $\delta = 14,400^\circ$ og med cirkelradierne $R_1 = 25,00$ m, $R_2 = 10,00$ m og $R_3 = 55,00$ m.

Det oplyses, at tangenthængden, $T_1 = |PA|$, fra skæringspunktet, P , mellem de to vejes begrænsningslinjer og til begyndelsespunktet, A , af den første cirkelbue i tilslutningskanten, er $T_1 = |PA| = 19,13$ m.

Der indlægges – jævnfør principskiten – et lokalt UV-koordinatsystem, som følger vejmidten af det retlinede stykke af »Hovedvej«. Koordinatsystemet orienteres, således at U-koordinaten er positiv til højre for vejmidten, set i stationeringsretningen, og negativ til venstre, og således at V-koordinaten vokser i stationeringsretningen. Koordinatsystemet fastlægges, således at endepunkterne af det retlinede vejstykke har koordinaterne:

$$(U_{9.500}; V_{9.500}) = (0,00; 9.500,00) \text{ henholdsvis}$$

$$(U_{10.500}; V_{10.500}) = (0,00; 10.500,00).$$

A – Bestem U-koordinaten til skæringspunktet, P , mellem de to vejes begrænsningslinjer – angiv løsningen i meter med 2 decimaler.

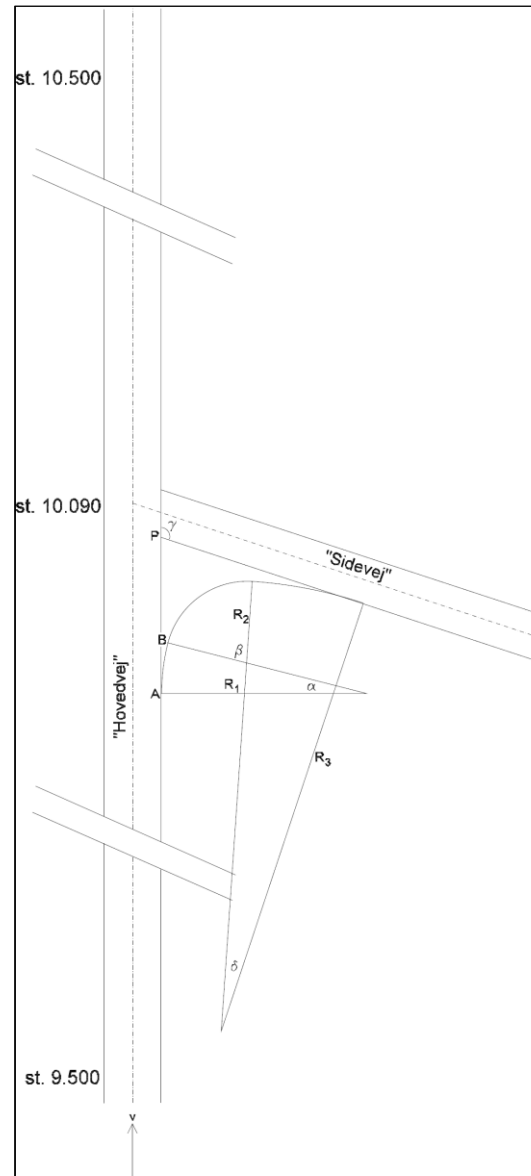
B – Bestem V-koordinaten til skæringspunktet, P , mellem de to vejes begrænsningslinjer – angiv løsningen i meter med 2 decimaler.

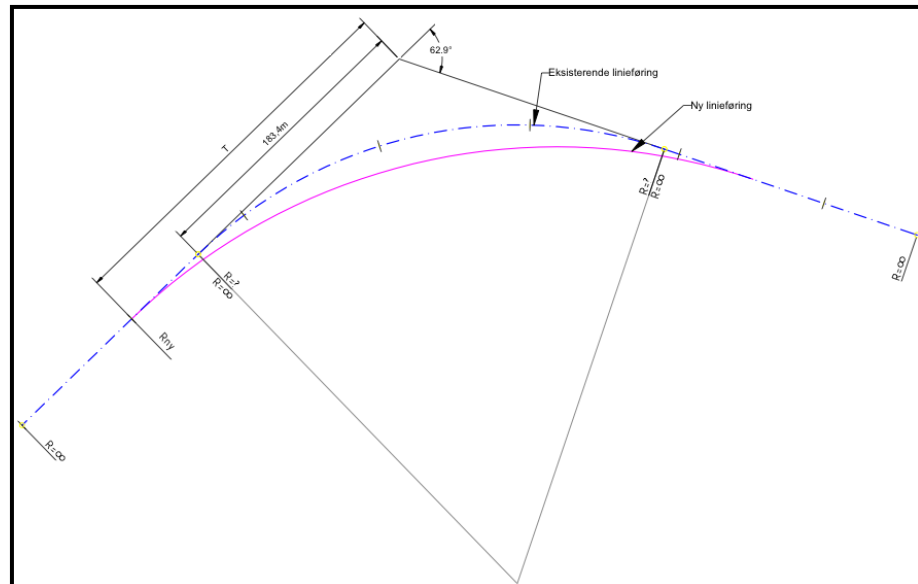
C – Bestem U-koordinaten til tangentialpunktet, B , mellem tilslutningskantens to første cirkelbuer – angiv løsningen i meter med 2 decimaler.

D – Bestem V-koordinaten til tangentialpunktet, B , mellem tilslutningskantens to første cirkelbuer – angiv løsningen i meter med 2 decimaler.

Opgave 37. * Kort og koordinater – O-2013 (20 %)

Figuren nedenfor illustrerer de geometriske forhold omkring en vejs kurveregulering. Alene linjeføringen betragtes. Tangentretningerne fremgår tydeligt af vejbilledet, og drejningsvinklen er





bestemt til $62,9^\circ$. Længden for buens tangent fra vinkeltoppunktet til cirkelbuens tangentialpunkt er bestemt til 183,4 m.

A – Bestem radius, R_{Gl} , af den cirkelbue som forløber gennem den eksisterende kurve. Angiv resultatet i meter uden decimaler.

Det ønskes at regulere kurven til et mere komfortabelt forløb, og man vælger radius $R_{Ny} = 400$ m til formålet.

B (5 %) – Hvor meget længere bliver tangentlængden fra vinkeltoppunktet til cirkelbuens tangentialpunkt i forhold til den oprindeligt målte? Angiv resultatet i meter med én decimal.

Midt for cirkelkurvens inderside står et fredet fortidsminde. For at den nye linjeføring går fri af fortidsmindet skal cirkeltoppunktet flyttes minimum 15 meter.

C – Hvor meget flyttes cirkeltoppunktet med den valgte nye radius $R_{Ny} = 400$ m? Angiv resultatet i meter med én decimal.

Opgave 38. * Kørselsdynamik – O-2011† (2 %)

Hvad er, ifølge de danske vejregler, den absolut højest tilladelige gradient i længdefaldet, forudsat at vi befinder os i byen, at hastighedsklassen er lav og at der er tale om en kort strækning?

a: 50 ‰. **b:** 60 ‰. **c:** 70 ‰. **d:** 80 ‰.

Opgave 39. Kørselsdynamik

På den vejstrækning med planlægningshastighed $v_p = 70$ km/h skal indlægges en horisontalkurve. Omgivelserne begrænser vejens udformning, så horisontalkurvens radius ikke kan blive større end $R_H = 150$ m.

A – Bestem størrelsen af den nødvendige sidegradient, når sidefriktionskoefficienten ikke må overstige $f_{r,till} = 0,14$.

B – Diskuter om der er tale om godt vejdesign, og vurder eventuelle muligheder for at afbøde problemet.

Opgave 40. Kørselsdynamik

På en vandret vejstrækning med tilladt hastighed på 80 km/h ligger en horisontalkurve med radius $R_H = 100$ m og sidegradienten $i_r = 45$ ‰.

A – Bestem den sideaccelerationskoefficient, f_r , trafikanterne oplever, hvis de gennemkører kurven med den tilladte hastighed.

B – Bedøm om kurven rummer særlig risiko, og angiv i givet fald hvorfor.

C – Hvilke foranstaltninger kan du anbefale for at forbedre situationen.

Opgave 41. Kørselsdynamik

En vandret horisontalkurve med radius $R_H = 350$ m ligger med en sidegradient på $i_r = 40$ ‰.

A – Hvad er den højeste skilteede hastighed, som kurven kan gennemkøres med, når det om sideaccelerationen, f_r , skal gælde, at $f_r \leq f_{r,till} = 0,28 \times \exp(-0,0096 \times V)$, hvor V er hastigheden i km/h?

B – Hvad er frihåndshastigheden ($f_{r,till} = \mu = 0$) gennem kurven?

Opgave 42. * Kørselsdynamik – O-2012 (24 %)

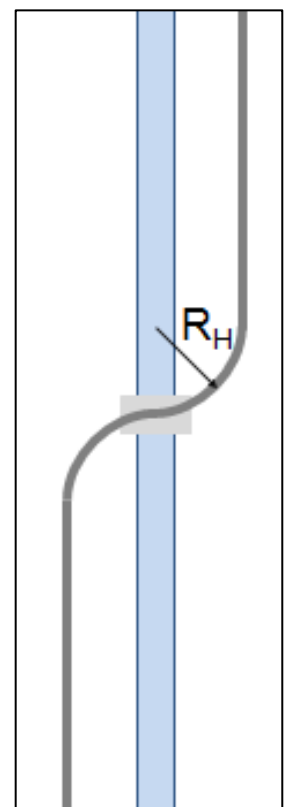
Parallelt med en retlinet afvandingskanal i en inddæmmet fjordarm forløber en ældre, facadeløs vej på en vandret dæmning. Vejen, der ligger i åbent land og er beskedent trafikeret, har en 6,00 m bred kørebane med tagformet tværprofil og sidehældninger på 20 ‰.

Vejen forløber ét enkelt sted – jævnfør hosstående principskitse – gennem en højreforsat S-formet kurve, som på en kort retlinet brostrækning i niveau med dæmningen fører vejen vinkelret over afvandingskanalen. Kurven fremkommer ved, at den retlinede vej går direkte over i cirkelbuer med radier på $R_H = 50$ m.

Gennem cirkelbuerne har kørebanen ensidigt indadrettet sidehældning på $i_r = 50$ ‰. Ændringen af sidehældningen er tilvejebragt dels på den retlinede brostrækning mellem de to cirkelbuer, dels på de retlinede strækninger umiddelbart før og efter horisontalkurverne.

I opgaven regnes tyngdeaccelerationen til $g = 9,82$ m/s².

A – Hvad er den højeste hastighed, som man kan passere kurven med, når sideaccelerationskoefficienten, som trafikanterne ople-



ver i kurven, ikke må overstige en værdi på $f_{r,till} = 0,20$? Angiv svaret i hele km/h.

B – Hvor stor er kompensationskoefficienten ved den hastighed, der er angivet i svaret til spørgsmål 1.A? Angiv svaret som rent tal med to decimaler.

C – Hvor lang en bremselængde er nødvendig for at bringe køretøjet fra den generelle hastighedsbegrænsning, 80 km/h, til den hastighed, der er angivet i svaret til spørgsmål 1.A, hvis det antages, at der uafhængigt af hastigheden udnyttes en bremsefriktionskoefficient på $\mu_B = 0,30$? Angiv svaret i hele meter.

D – Hvor stor er frihåndshastigheden gennem kurven? Angiv svaret i hele km/h.

E – Hvor lang en bremselængde er nødvendig for at bringe køretøjet fra den generelle hastighedsbegrænsning, 80 km/h til den frihåndshastighed, der er angivet i svaret i spørgsmål 1.D, hvis nedbremsningen sker som motorbremsning med en hastighedsuafhængig decelerationsværdi på $g_{motor} = 0,5 \text{ m/s}^2$? Angiv svaret i hele meter.

F – Hvor lang skal den retlinede strækning mellem de to modsatrettede cirkelbuer være, hvis den relative stigning mellem kørebaneens to kanter ikke må overstige $\Delta i_{max} = 6 \text{ ‰}$? Angiv svaret i hele meter.

Trods den beskedne trafik på vejen, optræder der en del trafikuheld omkring den S-formede kurve på vejen. Vej- og politimyndighederne er enige om, at de forhold, der forårsager disse uheld så vidt muligt bør afhjælpes.

G – Angiv tre trafiktekniske tiltag og tre vejtekniske tiltag, der kan bidrage til at fremme trafiksikkerheden ved den S-formede vejkurve.

Opgave 43. * Kørselsdynamik – R-2012† (25 %)

For en tosporet vej er planlægningshastigheden $V_p = 80 \text{ km/h}$. Kørebanebredden er 7,0 m. Afstanden fra kørebane kant til nærmeste sigthæmmende genstand er 2,0 m.

Opgaven besvares under følgende forudsætninger: Kurvelængden er større end den nødvendige sigtlængde. Den udnyttede friktionskoefficient er 0,35 (hastighedsuafhængig). Reaktionstiden er 2 s. Føreren befinder sig 1,0 m fra vejens midtlinje. Sikkerhedstillægget er 20 km/h.

A – Beregn den dimensionsgivende standselængde, når vejen forløber vandret og der kun kræves stopsigt. Angiv svaret i hele meter.

B – *Hvor meget øges bremselængden, hvis vejen har et længdefald på 5 ‰ (5 mm fald per meter). Angiv svaret i hele meter.*

C – *Beregn den nødvendige horisontalradius, når der ønskes stop-sigt i kurven (overhaling forbudt; vandret kurve). Angiv svaret i hele meter.*

D – *Beregn den nødvendige horisontalradius, når der ønskes mødesigt i kurven (vandret kurve). Angiv svaret i hele meter.*

På en strækning gennem bymæssig bebyggelse må der må accepteres en horisontalradius på $R_H = 800$ m.

E – *Hvor stor skal afstanden være fra kørebanekant til sigthindrende genstande langs vejen være, hvis planlægningshastigheden gennem bebyggelsen opretholdes på 80 km/h, og hvis kravet om mødesigt opretholdes. Angiv svaret i meter med én decimal.*

Opgave 44. * Kørseldynamik – O-2013† (25 %)

En vej med vandret længdeprofil rummer en højredrejende kurve. Gennem kurven har vejen ensidigt fald mod kurvens centrum. Horisontalkurvens radius er $R_H = 300$ m. Sidegradienten gennem horisontalkurven er $i_r = 35$ ‰. Tyngdeaccelerationen regnes til $g = 9,818$ m/s².

A – *Bestem hvor stor en sideaccelerationskoefficient, $f_{r,akt}$, passagerer i et automobil udsættes for, når bilen kører med hastigheden $V = 80$ km/h gennem horisontalkurven. Angiv svaret som decimaltal med tre decimaler.*

B – *Bestem kurvens frihåndshastighed, V_{fri} . Angiv svaret i kilometer pr. time (km/h) uden decimaler.*

C – *Antag, at der ved hastigheden $V = 80$ km/h accepteres en sideaccelerationskoefficient på $f_{r,till} = 0,130$. Bestem den mindste horisontalradius, R_H , der tilgodeser dette krav, når sidegradienten gennem horisontalkurven er $i_r = 35$ ‰. Angiv svaret i meter uden decimaler.*

D – *Angiv og begrund hvilke overvejelser det bør give anledning til, hvis en eksisterende vej er anlagt med den beskrevne, vandrette horisontalkurve ($R_H = 300$ m; $i_r = 35$ ‰), og kravet i spørgsmål B ($f_{r,till} = 0,130$) herefter gøres gældende.*

Antag, at den vandrette horisontalkurve ($R_H = 300$ m; $i_r = 35$ ‰) ligger for foden af en lang, stejl bakke, hvor cyklister kan opnå en høj hastighed. Antag endvidere, at vejens tværsnit består af to kørespor, der hver er 3,5 m bredde, og at der i hver side er en 1,0 m bred kantbane, der har samme sidegradient som køresporet.

Vi betragter en cyklist, der kører ind i horisontalkurven med en hastighed på $V_C = 36$ km/h, og som har placeret sig midt i kantbanen i kurvens inderside.

E – Bestem den vinkel med lodret, β , som cyklisten vil indtage gennem kurven for ikke at vælte. Angiv resultatet i grader ($^\circ$) med tre decimaler.

F – Bestem den vinkel, γ , som cyklisten indtager med normalen til kantbanen. Angiv resultatet i grader ($^\circ$) med tre decimaler.

Opgave 45. * Kørselsdynamik

Betragt som udgangspunkt en lang, konveks vertikalkurve på en vej, hvor følgende skal gælde (**situation A**):

- der skal være stopsigt ved $V_d = V_p + 20$ km/h:
- planlægningshastighed, $V_p = 110$ km/h,
- øjepunktshøjde, $h_\emptyset = 1,00$ m,
- objektpunktshøjde, $h_o = 0,15$ m,
- reaktionstid, $t_R = 2,0$ s,
- konstant middelbremsefriktion $\mu_{B,Mid} = 0,28$ gennem kurven

Længdegradientens indflydelse medtages ikke ved beregning af standselængden

A – Fastlæg den nødvendige, minimale vertikalkurve R_V for kurven.

B – Hvilken planlægningshastighed svarer vertikalkurven, der er beregnet for situation A, til, hvis forudsætningerne vedrørende friktion ændres, så $\mu_{B,Mid} = 0,377$ (**situation B**).

C – Hvilken planlægningshastighed svarer vertikalkurven, der er beregnet for situation A, til, hvis forudsætningerne vedrørende objektpunktshøjden ændres, således at $h_o = 0,50$ m (**situation C**).

D – Hvilken planlægningshastighed svarer vertikalkurven, som er beregnet for situation A, til, hvis forudsætningerne vedrørende sikkerhedstillæg til planlægningshastigheden (den ønskede hastighed) bortfalder ved beregning af stopsigt, således at $V_d = V_p$ (**situation D**).

E – Hvilken planlægningshastighed svarer vertikalkurven, der er beregnet for situation A, til, hvis forudsætningerne på følgende tre punkter ændres samtidigt (**situation E**): (i) sikkerhedstillæg til hastigheden bortfalder ved beregning af stopsigt, således at $V_d = V_p$ ($V_{85\%} = V_\emptyset$), (ii) effektiv genstandshøjde ændres, således at $h_o = 0,50$ m, og (iii) konstant, effektiv, total middelbremsefriktion ændres, således at $\mu_{B,Mid} = 0,29$.

F – Reflekter endelig over de ændrede forudsætninger og deres betydning. Berør i den forbindelse i hvilket omfang man som vejbestyrelse kan vælge fravige de fysiske forudsætninger, vejreglerne gør vedrørende de pågældende parametre, og i givet fald med hvilke begrundelser?

Opgave 46. * Kørselsdynamik – R-2013 (30 %)

I vindstille vejr kører en cyklist i frihjul ned ad en retlinet bakke med konstant længdegradient. Vi gør følgende antagelser:

- Bakkens længde er $L = 300$ m
- Strækningens længdegradient er $i_t = -45$ ‰
- Cyklistens begyndelseshastighed er $V_0 = 18$ km/h
- Cyklistens og cyklens masse er tilsammen $M = 80$ kg
- Cyklistens og cyklens frontareal udgør i alt $A = 0,70$ m²
- Cyklisten og cyklen har luftmodstandskoefficienten $C_W = 1,20$ [–]
- Luftens densitet er $\rho = 1,20$ kg/m³
- Rullemodstandskoefficienten er (konstant) $\mu_R = 0,015$ [–]
- Tyngdeaccelerationen er $g = 9,818$ m/s²

A – Bestem strækningens hældningsvinkel, α_t . Angiv resultatet i grader (°) med tre decimaler.

B – Bestem ændringen i cyklistens potentielle energi, ΔE_{pot} , over den 300 m lange strækning. Angiv resultatet i kJ med én decimal.

C – Bestem det energitab, ΔE_{Rub} , som rullemodstanden giver anledning til på den 300 m lange strækning. Angiv resultatet i kJ med én decimal.

D – Bestem størrelsen af vindmodstanden, F_L , som cyklisten skal overvinde ved toppen af bakken. Angiv resultatet i N med to decimaler.

E – Bestem den hastighed, V_s , hvor summen af rullemodstanden og luftmodstanden udligner virkningen af, at cyklisten kører ned ad bakke. Angiv resultatet i km/h med én decimal.

F – Bestem hvor stor cyklistens hastighed, V_{50m} , er, når han er kørt 50 m ned ad bakken. Angiv resultatet i km/h uden decimaler.

Opgave 47. * Kørselsdynamik – 0-2015 (30 %)

En vej i bymæssig bebyggelse har hastighedsbegrænsning lig planlægningshastighed $V_P = 60$ km/h. Tværprofilet består af en 6,0 m bred kørebane, der er afgrænset af kantstene. Fodgængertrafik færdes på vejens græsrabatter.

Vejen forløber retlinet ned af en lang, stejl bakke. Ved foden af bakken bliver vejens længdeprofil vandret, mens vejens linjeføring går ind i en højredrejende cirkelbue, der med en horisontalradius på $R_H = 145$ m fører vejen gennem et 90° sving. Gennem cirkelbuen har vejen et ensidigt fald, $i_r = 50$ ‰, mod kurvens centrum. Tyngdeaccelerationen regnes til $g = 9,818$ m/s².

A – Bestem kurvens frihåndshastighed, V_{fri} . Angiv resultatet i hele km/h uden decimaler.

B – Bestem kurvens kompensationsfaktor, K . Angiv resultatet som rent tal med to decimaler.

C – Bestem den vinkel, β , som en cyklist, der kører gennem horisontalkurven med en hastighed på 30 km/h vil indtage i forhold til lodret for ikke at vælte. Angiv resultatet i grader ($\pi = 180^\circ$) med to decimaler.

D – Bestem den vinkel, γ , som cyklisten i spørgsmål C indtager i forhold til normalen til vejoverfladen. Angiv resultatet i grader ($\pi = 180^\circ$) med to decimaler.

Da vejen er rimeligt trafikeret og tillige er skolevej, beslutter vejmyndigheden, at den i hver side skal forsynes med en 3,0 m bred delt sti, hvoraf 1,7 m er for cyklende, og de resterende 1,3 m er for gående.

Miljø- og Trafikudvalgets formand foreslår, at kantstenene flyttes til den delte stis yderside, og at den delte sti i horisontalkurvens inderside anlægges med 50 ‰ sidefald væk fra kurvens centrum.

Teknisk Forvaltnings Vejafdeling fremlægger i stedet, at vejens kantstene bibeholdes, og at de delte stier i begge vejsider udføres med udgangspunkt i de nuværende kantstene og med 50 ‰ sidefald mod kurvens centrum.

Betragt i spørgsmål E-H en cyklist, der med en hastighed på 30 km/h kører på cykelstien i horisontalkurvens inderside, og som har placeret sig 0,5 m til højre for vejens kørebane.

E – Bestem den vinkel, γ_1 , som cyklisten vil indtage i forhold til normalen til stiens overflade, hvis den delte sti er udført i henhold til Vejafdelingens forslag. Angiv resultatet i grader ($\pi = 180^\circ$) med to decimaler.

F – Hvor stor friktionskoefficient, $\mu_{\text{udnyttet},1}$, skal cyklisten, der er betragtet i spørgsmål E, udnytte, for at cyklens hjul ikke skal skride på stiens overfalde. Angiv resultatet i rent tal med to decimaler.

G – Bestem den vinkel, γ_2 , som cyklisten vil indtage i forhold til normalen til stiens overflade, hvis den delte sti er udført i henhold til udvalgsformandens forslag. Angiv resultatet i grader ($\pi = 180^\circ$) med to decimaler.

H – Hvor stor friktionskoefficient, $\mu_{\text{udnyttet},2}$, skal cyklisten, der er betragtet i spørgsmål G, udnytte, for at cyklens hjul ikke skal skride på stiens overfalde. Angiv resultatet i rent tal med to decimaler.

I – Hvis du som vej- og trafikingeniør skal præsentere overvejelserne i spørgsmål F og i spørgsmål H for kommunens tekniske udvalg, hvilke faglige betragtninger vil du da især betone?

J – Hvilke faglige bevæggrunde kan udvalgsformanden have for sit forslag til udformning af den delte sti i horisontalkurvens inderside?

Opgave 48. * Kørselsdynamik

En bilist, der kører med en hastighed på 130 km/h på en motorvej, ønsker at have reduceret sin hastighed til 90 km/h, når hun drejer ind på en frakørselsrampe med en hastighed på 90 km/h. Strækningen forud for frakørselsrampen forløber med et længdefald på 30 ‰.

A – *Beregn i hvor lang afstand før frakørselsrampen bilisten skal slippe speederen, hvis nedbremsningen skal ske med en motorbremsning på $g_m = 1,1 \text{ m/s}^2$.*

B – *Beregn tilsvarende afstanden, hvis nedbremsningen sker med udnyttelse af en (konstant) friktionskoefficient på $\mu_t = 0,28$.*

Opgave 49. * Kørselsdynamik

En bilist, der kører med en hastighed på 80 km/h på en vej med 40 ‰ længdefald, bliver opmærksom på et væltet sættevognstog, der helt blokkerer vejen. Antag, at bilisten har en reaktionstid på $t_r = 2,0 \text{ s}$, og at hun kan gennemføre opbremsningen med en (konstant) friktionskoefficient på $\mu_t = 0,34$.

A – *Bestem den afstand, i hvilken bilisten har observeret det væltede vogntog, hvis bilisten netop standser 9 m før vogntoget.*

B – *Bestem den hastighed bilisten har, når hendes bil kører ind i det væltede vogntog, hvis hendes reaktionstid i stedet var $t_r = 3,0 \text{ s}$.*

Opgave 50. * Kørselsdynamik – R-2014 (20 %)

En person bestemmer sin bils bremseevner ved at foretage en hård, fuld opbremsning på to vejstrækninger, den ene med et længdefald på 50 ‰, den anden med et længdefald på 30 ‰.

Opbremsningerne sker med samme begyndelseshastighed, v , og det viser sig, at bremselængden er 6 m længere i det første tilfælde.

Antag, at middelfriktionskoefficienten på begge strækninger er $\mu_{Mid} = 0,33$. Tyngdeaccelerationen sættes til $g = 9,818 \text{ m/s}^2$.

A – *Bestem begyndelseshastigheden, v , hvorfra opbremsningen sker. Angiv resultatet i hele km/h.*

B – *Bestem bremselængden, hvis personen med denne hastighed foretager fuld opbremsning op ad bakke på strækningen med 50 ‰ længdegradient. Angiv resultatet i m med et relevant antal decimaler.*

C – *Beskriv med egne ord hvilke betæneligheder man som uddannet ingeniør må have ved at bestemme et køretøjs bremseevner på den beskrevne måde.*

Opgave 51. * Kørselsdynamik

En to-sporet vej i det åbne land har en planlægningshastighed, V_p , på 80 km/h og skal projekteres med for en dimensioneringshastighed, V_d , på 100 km/h. Kørebanen på $2 \times 3,5$ meter afgrænses af rabatter på 3,0 m inklusive trug til afvanding og vejalen. På en vandret delstrækning lægges en lang horisontalkurve med radius, $R_H = 700$ m. Der regnes med en middelbremsefriktionskoefficient gennem kurven på $\mu_{B, Mid} = 0,30$ og med en reaktionstid $t_R = 2,0$ s.

A – Bestem værdien af den aktuelle stopsigt, S_{Stop} .

B – Bestem den nødvendige oversigt, d , regnet fra øjets placering til en hindring langs kurvens inderside.

C – Bestem den nødvendige oversigt uden for vejarealet, når der skal være stopsigt gennem kurven.

D – Diskuter om løsningen er god, og hvordan den kunne forbedres.

Opgave 52. * Kørselsdynamik – 0-2015 (30 %)

En gruppe studerende har udarbejdet et projekt for en firesporet 130 km/h motorvejsstrækning med 3,75 m brede kørespor. Gennem en lang, vandret, højredrejende horisontalkurve, $R_H = 900$ m, ligger den projekterede motorvej i afgravning med forholdsvis stejle skråninger, der vil fremstå som sigthindrende i en sideafstand på $d = 9$ m i forhold til motorvejens højre kørespor.

Det antages, at opbremsning gennem horisontalkurven ved normalt føre vil kunne ske med en konstant deceleration på $g_d = 3,6$ m/s². Reaktionstiden sættes til $t_R = 2,0$ s.

A – Vurder hvorvidt der er fornødent stopsigt gennem horisontalkurven.

B – Vurder hvor stor sidegradienten, i_r , gennem horisontalkurven skal være, når trafikanternes tilladelige sideaccelerationskoefficient antages at følge vejreglernes eksponentielle funktion, $f_{r, till} = 0,28 \cdot \exp(-0,0096 \cdot V_d)$, og når tyngdeaccelerationen sættes til $g = 9,818$ m/s². Vurder endvidere hvor stor frihåndshastigheden, V_{fri} , i kurven vil være. Angiv resultater i relevante enheder og med relevant nøjagtighed.

På motorvejsstrækningen optræder trafikkøer i morgenmyldretiden. Det betyder, at den højredrejende horisontalkurve ofte vil være fyldt af tætkørende lastvognstog i sit højre kørespor. For trafikanterne i horisontalkurvens venstre kørespor vil køen af lastbilerne fungere sigthindrende i en sideafstand svarende til en køresporsbredde. På den baggrund foreslår projektgruppen at opsætte variable hastighedstavler.

C – Vurder hvilken hastighedsgrænse, de variable hastighedstavler bør vise i morgenmyldretiden.

D – Vurder hvilken hastighedsgrænse, de variable hastighedstavler bør vise, hvis der i morgenmyldretiden er sne- eller isglat føre, så nedbremsning gennem kurven vil kunne ske med en konstant deceleration på blot $g_d = 1,0 \text{ m/s}^2$.

E – Angiv hvilke problemer besvarelsen af de foranstående spørgsmål afdækker og angiv, uden at regne på løsninger, hvilke justeringer af projektet der vil kunne afhjælpe disse problemer.

Opgave 53. Tværsnit og Trace – R-2013 (25 %)

En mindre to-sporet vej i det åbne land forløber stort set fra syd mod nord. Stationeringen begynder mod syd. På begge sider langs vejen ligger spredt bebyggelse med vejadgang. Den generelle hastighedsgrænse på 80 km/h gælder.

To forhold bevirker, at vejen skal udbygges. Dels bliver den, som følge af en ændring af skoledistrikter, skolevej for et mindre bysamfund med 200 skolesøgende elever. Dels skal vejen i fremtiden også betjene en nærliggende grusgravvirksomhed, og den dimensionsgivende trafikklasse vil derfor stige til T4.

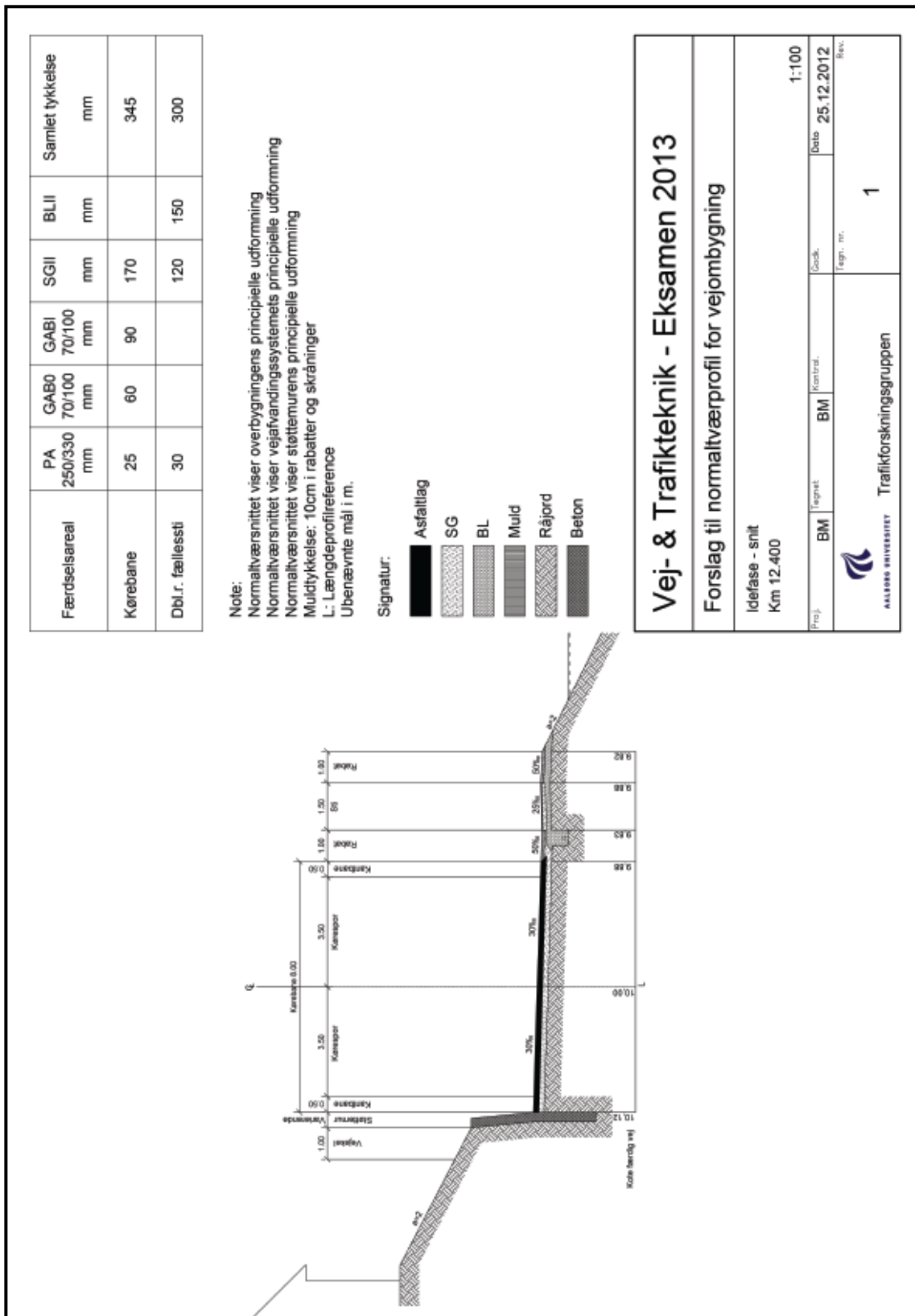
Vejens ønskes ændret, så den får en kørebane, der består af to 3,5 m brede kørespor afgrænset mod rabatterne af 0,5 m brede kantbaner. Samtidigt skal vejen forsynes med en dobbeltrettet cykel- og gangsti i vejens østlige side.

På delstrækningen fra station 12,200 til station 12,900 forløber den gamle vej langs en skråningsfod med en søbred mod øst og med en op til 6 m høj skråning med anlæg 1:2 mod vest. Vejen ligger på ferskvandsaflejringer, og kørebanen er stærkt præget af sætninger. Vejens længdeprofil er vandret; linjeføringen rummer en lang, venstredrejende kurve, $R_H = 1000 \text{ m}$, gennem hvilken kørebanen har et ensidigt fald. Belægningen fastlægges ved brug af katalogmetoden. På delstrækningen tænkes vejen ombygget, så vejen trækkes ind i skråningen, idet søbredden i princippet ikke berøres.

Borgmesteren har i juledagene skitseret sit påtænkte tværsnit i station 12,400, hvor et hus med udsigt over søen ligger nær ved skråningstoppen.

Omstående **Tegning I** er en rentegning af skitsen. Bemærk, at tegningen er nedfotograferet, så det angivne målforhold passer derfor ikke!.

Det kan forudsættes, at der foreligger fyldestgørende dokumentation for, at betonstøttemuren mod skråningen er tilstrækkeligt dimensioneret, funderet og forankret.



A – Gennemgå tegningen fra venstre mod højre. Påpeg og kommenter for hvert enkelt tværsnitselement eventuelle problemer med udformningen af tværsnittet. Foreslå og begrund ændringer, der i trafikal henseende kan forbedre tværprofilen, eller som kan forbedre den vejtekniske konstruktion.

Opgave 54. * Tværsnit og Trace – R-2014 (30 %)

I et helt plant, vandret terræn krydser en belyst, retlinet vej en retlinet jernbanestrækning under en ret vinkel. Såvel vej som jernbane ligger i terræn. Krydsningen skal ombygges, så den bliver niveaufri. Jernbanen fastholdes, mens vejen hæves.

Vejens længdeprofil skal derfor ændres, så man fra eksisterende, vandrette vej kører ind på en konkav vertikalkurve, en strækning med konstant længdegradient, en konveks vertikalkurve over jernbanen, en strækning med konstant længdegradient og endelig en konkav vertikalkurve, før man igen er på den eksisterende vandrette vej – jævnfør hosstående skitse.

For at skabe det nødvendige frirumsprofil og konstruktionshøjde over jernbanen, skal færdigvejens toppunkt midt over jernbanesporet være hævet $H = 8,00$ m over terræn.

Man ønsker at ombygge så kort en strækning af vejen som muligt, og man tillader derfor brug af en maksimalt tilladt længdegradient på $i_t = 50$ ‰, og de minimalt tilladelige vertikalaradier.

Man forlanger ikke overhalingssigt, men ved planlægningshastigheden, $V_p = 70$ km/h, skal der være mødesigt, $L_{møde} = 190$ m, mellem to punkter beliggende 1,0 m over vejens midtlinje. Endvidere skal der ved dimensioneringshastigheden, $V_d = 90$ km/h, være stopsigt, $L_{stop} = 135$ m, fra en øjepunktshøjde på 1,0 m til en objektpunktshøjde på 0,3 m.

Tyngdeaccelerationen regnes til $g = 9,818$ m/s². Trafikanternes reaktionstid sættes til $t_r = 2,0$ s, og trafikanterne antages at acceptere en vertikal g-påvirkning på op til $g_v = 0,5$ m/s².

A – *Hvad er dimensioneringskriteriet for de konkave vertikalkurvers radius, og hvor stor er denne radius? Angiv resultatet i hele m.*

B – *Hvor lang bliver hver af de konkave vertikalkurvers buelængde? Angiv resultatet i m med to decimaler.*

C – *Hvad er dimensioneringskriteriet for den konvekse vertikalkurves radius, og hvor stor er denne radius? Angiv resultatet i hele m.*

D – *Hvor lang bliver den konvekse vertikalkurves buelængde? Angiv resultatet i m med to decimaler.*

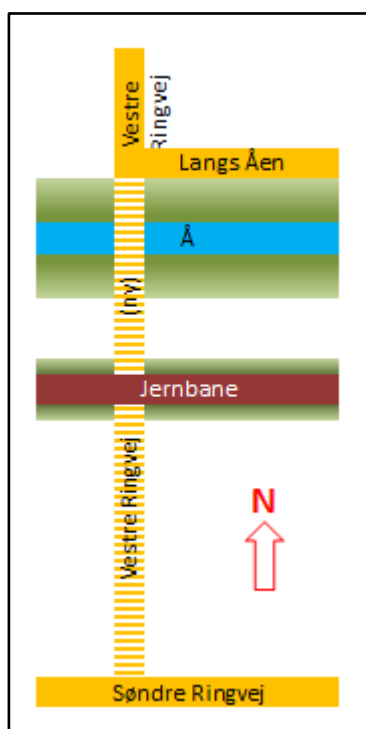
E – *Hvor stor en højdeændring skal tilvejebringes på hver af de to*



strækninger, der ligger med den konstante længdegradient, $i_t = 50$ ‰. Angiv resultatet i m med to decimaler.

F – Hvor lang en strækning af vejen skal ombygges for at skabe den niveaufrie krydsning af jernbanen? Angiv resultatet dels i m med to decimaler, dels med en nøjagtighed, der er relevant ved en fremlæggelse på et borgermøde.

Opgave 55. * Tværsnit og Trace – 0-2015 (30 %)



I en østjysk fjordby skal anlægges sidste etape af en vej, *Vestre Ringvej*, med planlægningshastighed $V_p = 50$ km/h. På etappen skal ringvejen, vist med skraveret signatur på hørstående principskitse, forløbe fra et allerede anlagt kryds med den 12,00 m brede gade *Langs Åen*. Ringvejen skal herefter på en bro krydse over den lokale, større å og under en jernbanestrækning beliggende på en dæmning parallelt med åen, før vejen endelig ansluttes til den eksisterende vej *Søndre Ringvej*. Hele den nye stræknings linjeføring er retlinet.

Længdeprofilen for den sydlige etape af *Vestre Ringvej* skal fastlægges under hensyntagen til følgende bindinger:

- Stationeringen vokser mod syd. Midten af krydset mellem *Vestre Ringvej* og *Langs Åen* har stationeringen 1.414,03 og koten 4,15.
- Nord for og gennem krydset med *Langs Åen* ligger *Vestre Ringvej* med en længdegradient på -25 ‰.
- Midten af den 10 m brede å ligger 20 m syd for midten af *Langs Åen*. Normalvandstand i åen ligger i kote 1,0; men vandstanden kan variere og vil typisk være højere efter vedvarende, kraftig vind fra øst. Det er derfor vurderet, at broen skal have en frihøjde på 1,0 m over normal vandstand. For at tilgode dette og for at give plads til en rimelig højde på brokonstruktionen er det besluttet, at *Vestre Ringvej* skal ligge mindst i kote 3,30 på broen over åen. Det er endvidere besluttet, at åens skråninger ved brostedet udformes med anlæg 1:3.
- Under jernbanebroen ligger *Vestre Ringvej* i konvex vertikal-kurve. Brodækket, der skal bære jernbanen over *Vestre Ringvej*, vil ligge fra stationering 1.509,98 til stationering 1.523,98. Jernbanen ligger i skæringspunktet i kote 8,03. Skinner, svelle, ballast og brokonstruktion vil have en samlet tykkelse på 2,30 m, og det skal sikres, at *Vestre Ringvej* får et frirumsprofil på mindst 4,63 m.
- Midten af *Søndre Ringvej* ligger i station 1.669,48 m og har kote 4,00.
- Det skal sikres, at vejstrækningerne gennem kryds og 25 m nærmest kryds ikke har længdegradienter, der er numerisk større end 25 ‰, og at længdegradienten intetsteds bliver numerisk større end 50 ‰.

- Alle vertikalkurver skal udføres med radius $R_V = 400$ m.

TIP: Med tanke på at besvare opgavens spørgsmål, kan den studerende måske med fordel støtte sig til en skitse af vejstrækningens længdeprofil med de bindinger, der gælder for længdeprofilet.

A – Vurder og kommenter valget af vertikalradius.

B – Vis, at kravene til Vestre Ringvejs placering ved passagen af broen over åen er tilgodeset, hvis vejens længdeprofil videreføres med længdegradient -25 ‰ fra krydset med Langs Åen.

C – Bestem hvilken kote Vestre Ringvej højst må ligge i under jernbanebroen for at tilgode kravet om frirumshøjde. Angiv hvor under broen dette krav er mest kritisk, når dybdepunktet, P_B , i længdeprofilets konkave vertikalkurve under jernbanen skal ligge højst muligt. Angiv stationering(er). Angiv resultaterne i meter med to decimaler.

På den nordlige del af strækningen, fra krydset med Langs Åen gennem dybdepunktet, P_B , af kurven under jernbanen, og til denne kurves endepunkt, P_C , udformes Vestre Ringvejs længdeprofil således:

- Fra station 1.414,03 til station 1.470,00: retlinet med længdegradient -25 ‰
- Fra station 1.470,00 til punktet P_A : konveks vertikalkurve
- Fra punktet P_A til station 1.497,00: retlinet med længdegradient er -50 ‰
- Fra station 1.497,00 til station 1.524,98: konkav vertikalkurve

D – Bestem stationeringerne til punkterne P_A og P_B og bestem koterne i de fire hovedpunkter: Angiv resultaterne i meter med to decimaler.

E – Eftersis, at længdeprofilet på strækningen mellem stationeringerne 1.524,98 og 1.669,48 (Søndre Ringvejs midte) ligger med en retlinet længdegradient på 20 ‰. Eftersis, at den krævede frirumshøjde under jernbanebroen er til stede i det beskrevne længdeprofil.

Opgave 56. * Tværsnit og Trace – 0-2015† (2 %)

Bestem længden af en rampe til en p-kælder, der kun skal benyttes af personbiler. Der skal være en frihøjde i p-kælderen på 2,5 m. Der skal endvidere overvindes en konstruktionshøjde på 0,8 m for dækket over parkeringskælderen. Rampen regnes som en uden-dørs rampe. Den er ikke overdækket.

a: 22,0 m. b: 24,3 m. c: 33,0 m. d: 36,5 m. e: 38,5 m.

Opgave 57. * Vejgeometri i øvrigt – O-2011† (2 %)

Afstanden fra kørebanekant til den del af færdselstavler, der er nærmest kørebanekanten og som står i rabatten, bør normalt ikke være mindre end:

a: 0,25 m. **b:** 0,50 m. **c:** 0,75 m. **d:** 1,00 m.

Opgave 58. * Vejgeometri i øvrigt – O-2011† (2 %)

Langt de fleste almindelige bump, som benyttes til lodret hastighedsdæmpende foranstaltning, udføres med samme højde for den hævede flade. Hvor høje er disse bump.

a: 50 mm. **b:** 100 mm. **c:** 150 mm. **d:** 200 mm

Opgave 59. * Vejgeometri i øvrigt – O-2015† (2 %)

Der skal anlægges en vendeplads udformet som et symmetrisk hammerhoved for enden af en blind lokalvej. Lastbiler, men ikke sættevogne skal kunne vende på pladsen. Hvad er minimumslængden på vendepladsen?

a: 15 m. **b:** 20 m. **c:** 25 m. **d:** 30 m. **e:** 35 m.

Opgave 60. * Vejgeometri i øvrigt – O-2015† (2 %)

I en by anvender man udelukkende standardbusser på 12 meters længde. Hvad er den absolutte minimumslængde på buslommer, placeret langs byens stærkt trafikerede veje?

a: 30 m. **b:** 44 m. **c:** 49 m. **d:** 53 m. **e:** 68 m.

BELÆGNINGSDIMENSIONERING

Opgave 61. * Belastning – O-2011† (2 %)

Et sættevognstog, der i alt vejer 20 tons, kører på tre hjulaksler. 20 % af vægten ligger på forreste aksel; resten er ligeligt fordelt på de to øvrige aksler. Hvor stort er sættevognstogets samlede $\text{Æ}10$ -last ifølge 4. potens formelen?

a: 0,84 $\text{Æ}10$. b: 0,82 $\text{Æ}10$. c: 0,80 $\text{Æ}10$. d: 0,41 $\text{Æ}10$.

Opgave 62. * Belastning – O-2011† (2 %)

En person på 60 kg, inklusive påklædning, kører på en racercykel, der vejer 10 kg. Kontaktfladen mellem racercyklens smalle dæk og vejoverfladen tilnærmes til en cirkel med diameter på 25 mm. Hvor stort er kontaktrykket, σ_0 , når der ses bort fra stødtillæg?

a: 0,70 kPa. b: 7,0 kPa. c: 70 kPa. d: 0,70 MPa.

Opgave 63. Belastning

På en større to-sporet kommunevej (tidligere amtsvej) i det åbne land er foretaget den nedenfor resumerede manuelle trafiktælling. Målingen er udført på en hverdag i september måned i tidsrummet kl. 06-18. Tallene gælder for begge retninger tilsammen.

Køretøjsart	Antal
Person- og varebiler under 2 tons totalvægt	3282
Vare-lastbiler, 2-6 tons totalvægt	403
Sololastbiler over 6 tons totalvægt	411
Lastbiler med påhængsvogn	201
Lastbiler med sættevogn	188
Busser	129
Biler i alt	4614

Anvend korrektionsfaktorer og standard- $\text{Æ}10$ -faktorer fra »Vejbefæstelser – Design og dimensionering« (eller fra dimensioneringsvejreglen).

A – Beregn det ækvivalente antal 10-tons akseltryk ($\text{Æ}10$ -lasten) per vognbane for tællingen.

B – Bestem det gennemsnitlige bidrag til $\text{Æ}10$ -lasten fra hvert tungt køretøj over 6 tons (inklusive busser).

C – *Beregn bidraget fra hele den talte gruppe af vare-lastbiler (2-6 tons totalvægt) til Æ10-belastningen, når det forudsættes, at alle disse køretøjer er to-akslede og har et middelaakseltryk på 2,5 tons.*

Det forudsættes, at den talte lastbiltrafik (inklusive busser) over 6 tons totalvægt kan opregnes til hverdagsdøgntrafik ved tillæg af 25 %.

Det forudsættes endvidere, at hverdagsdøgntrafikkens lastbiltrafik kan omregnes til månedsdøgntrafik ved at gange med faktoren 0,73, idet der herved korrigeres for den mindre lastbiltrafik i weekender og på skæve helligdage.

Det forudsættes endelig, at sæsonfaktoren, der omregner fra månedsdøgntrafikkens lastbiltrafik til årsdøgntrafik (ÅDT), kan sættes til 1,0.

D – *Beregn Æ10-belastningen for hele året på grundlag af spørgsmålene a.*

Vejen skal forstærkes eller nyanlægges som en 2-sporet vej. Dimensioneringsperioden sættes til 10 år, og den talte trafik påregnes at gælde i åbningsåret.

Der betragtes tre alternative prognose-forudsætninger.

E – *Beregn dimensioneringstrafikbelastningen (den akkumulerede Æ10-belastning) for hele dimensioneringsperioden, såfremt prognoseforudsætningen er, at lastbiltrafikken regnes konstant såvel i antal som i fordelingen på køretøjsarter.*

F – *Beregn dimensioneringstrafikbelastningen (den akkumulerede Æ10-belastning) for hele dimensioneringsperioden, såfremt prognoseforudsætningen i stedet er, at lastbiltrafikken vokser med 5 % årligt, men at standard-Æ10-faktorerne og den procentvise fordeling på køretøjsarter er uændrede.*

G – *Beregn dimensioneringstrafikbelastningen (den akkumulerede Æ10-belastning) for hele dimensioneringsperioden, såfremt prognoseforudsætningen nu er, at lastbiltrafikken er uændret i antal, men at det gennemsnitlige akseltryk vokser med 5 % årligt, idet der bliver relativt flere biler i de tungere vægtklasser.*

H – *Vurder i hvilken trafikklasse vejen – under hensyntagen til de tre prognose-forudsætninger – bør dimensioneres.*

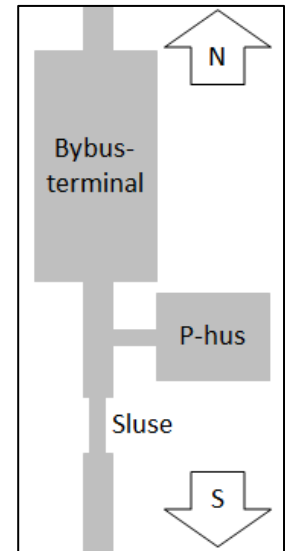
Opgave 64. * Belastning – O-2012† (16 %)

Smallegade er en smal, let kroget bygade, der alene har betjent et parkeringshus med plads til 300 personbiler.

I forbindelse med en omlægning af byens kollektive trafikbetjening, skal Smallegade i fremtiden også betjene byens nye bybus-

terminal. Hver af byens seks bybuslinjerne får to sløjfer: én mod det nordlige eller østlige opland og én mod det sydlige eller vestlige opland. Alle seks linjer samles på den nye bybusterminal, og alle sløjfer til og fra det sydlige og det vestlige opland skal passere ad Smallegade.

På en kortere strækning er Smallegades tværprofil og forløb så snævert, at det ikke er muligt for to bybusser at passere hinanden, og det er ikke muligt at øge tværprofilet, da det vil betyde kraftige indgreb i ældre, bevaringsværdige bygninger. Derfor formes Smallegades tværprofil på dette sted som en »sluse« med kun ét kørespor, idet et signalanlæg skiftevis tillader langsomt kørende trafik (5 km/h) i nordlig henholdsvis i sydlig retning - jævnfør hosstående principskitse.



Bybussystemet er designet, så bybuslinjerne har 20 minutters drift på hverdage i dagtimerne. I praksis betyder det, at der fra bybusterminalen hvert 10. minut afgår tre busser (på forskellige linjer) i hver retning, mandag-lørdag i tidsrummet 06:00-18:59. I aften timerne, 19:00-22:59, og på søndage køres med 60 minutters drift i tidsrummet 08:00-21:00.

A – Bestem, ud fra standard \bar{A}_{10} -faktoren og korrektionsfaktorer, hvor stor en dimensionsgivende belastning hver buspassage vil give på det smalle stykke af Smallegade. Angiv svaret som heltal med to decimaler.

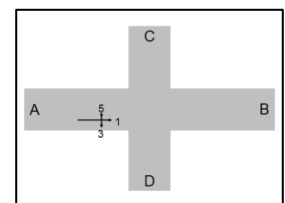
B – Bestem det antal bybusser, $N_{bybus,uge}$, der ugentligt passerer ad Smallegade - der ses i opgaven bort fra søgne-helligdage, ligesom der ses bort fra bybusser til og fra remisse samt eventuel indsættelse af ekstra busser i forbindelse med fx nedbrud.

C – Bestem bybustrafikkens dimensionsgivende trafikbelastning på det smalle stykke af Smallegade for en levetid på 20 år, idet det antages at bustrafikken vil have uændret omfang gennem denne periode. Angiv svaret i millioner ækvivalente 10-ton akseltryk (\bar{A}_{10}) med én decimal.

D – Angiv hvilken trafikklasse den smalle del af Smallegade må henføres til ved belægningsdimensionering efter beslutningen om etablering af bybusterminalen.

Opgave 65. * Belastning – R-2014 (20 %)

I et firebenet, fuldt kanaliseret kryds i åbent land på vejstrækningen A-B skal befæstelsen i opmarchbanen for primærvejens vinstresvingende trafikstrøm (trafikstrøm 5 fra vejgren A på hosstående skitse) dimensioneres for en periode på 15 år.



En tælling over dagtimerne, kl. 06-18, i et par hverdage i 2013 viser i trafikstrøm 5 en lastbilandel på 5 % med følgende fordeling på de tunge køretøjskategorier:

Køretøjskategori	Antal køretøjer
Busser	23
Sololastbiler	54
Sættevognstog	7
Påhængsvognstog	31

Den talte fordeling mellem den tunge trafiks køretøjskategorier antages at være repræsentativ.

Årsdøgntrafikken i trafikstrøm 5 er i 2013 opgjort til 2300 køretøjer. Korrektionsfaktoren, der tager højde for, at der er mindre lastbiltrafik i tidsrummet kl. 18 – 06 og i weekender, sættes til 0,86.

Ved beregningen af den dimensionsgivende trafik i tilfarten indgår blandt andet korrektionsfaktorerne K_F , K_K , K_R og F_{SS} . Det antages i det følgende, at produktet af de fire nævnte korrektionsfaktorer er $K_F \times K_K \times K_R \times F_{SS} = 1,3$.

A – Angiv hvad hver af disse korrektionsfaktorer korrigerer for.

B – Beregn den dimensionsgivende trafik over 15 års perioden 2014-2028, når der optræder en eksponentiel trafikvækst med en relativ stigning på $\alpha = 2,0\%$. Angiv svaret i 10^6 Æ10-aksler med et relevant antal betydende cifre.

C – Beregn hvor stor den tilladelige tøjning i undersiden af opmarchbanens befæstelses asfaltlag må være, hvis asfaltlaget skal kunne holde til den dimensionsgivende trafik, der er beregnet i spørgsmål 2.A. Angiv svaret i mikrostrains (10^{-6}) med et relevant antal betydende cifre.

D – Beregn hvor meget den dimensionsgivende trafik over 15 års perioden 2014-2028 forøges, hvis der fra 1. januar 2015 oprettes en ny busrute, der på alle ugens syv dage i tidsrummet kl. 06-18 kører tre busser pr. time, der skal benytte opmarchbanen for trafikstrøm 5. Angiv svaret i 10^6 Æ10-aksler med et relevant antal betydende cifre.

Opgave 66. * Belastning – 0-2015 (25 %)

I et firebenet kryds i det åbne land mødes tosporede veje fra vest, fra syd, fra øst og fra nord. Tilfarternes årsdøgntrafik er bestemt ved opregning fra en maskinel trafiktælling. Tællingen er udført i tidsrummet kl. 06-18 på en almindelig hverdag i efteråret 2014. Opregningen har givet følgende resultat:

	Fra vest	Fra syd	Fra øst	Fra nord
Årsdøgntrafik 2014, N_{ADT}	3000	1800	3000	2800

I 2014-tællingen er lastbilprocenten (over 5,8 m og uden opdeling i længdegrupper) opgjort til:

	Fra vest	Fra syd	Fra øst	Fra nord
Lastbilprocent, P_L	15,0 %	20,0 %	12,5 %	12,5 %

Ved 2014-tællingen er det ikke registreret, hvordan de ankomende køretøjer fordeler sig i krydset. En 25 år gammel trafiktælling viser dog følgende fordeling:

	Fra vest	Fra syd	Fra øst	Fra nord
Mod vest	–	40 %	50 %	35 %
Mod syd	35 %	–	15 %	25 %
Mod øst	35 %	20 %	–	40 %
Mod nord	30 %	40 %	35 %	–

Det firebenede kryds skal ombygges til en almindelig énspolet rundkørsel. Med tanke på belægningsdimensioneringen skal den dimensionsgivende trafikbelastning bestemmes på grundlag af de foreliggende trafiktal.

Dimensioneringen skal gælde for 20 år, begyndende i år 2015. Det antages, at der er en årlig, relativ trafikstigning på $\alpha = 1\%$ gennem dimensioneringsperioden.

Korrektionsfaktoren for supersingledæk er $F_{SS} = 1,2$.

A – Hvor stort er produktet K af korrektionsfaktorer, $K = K_F \cdot K_K \cdot K_R \cdot F_{SS}$, når den dimensionsgivende trafikbelastning pr. kørespor i den énsporede rundkørsel skal beregnes på grundlag af trafikmængderne i tilfarterne.

B – Beregn vækstfaktoren P over de 20 år.

Da der kun ligger ældre tal for trafikens fordeling i krydset vurderes den dimensionsgivende trafikbelastning i to forskellige situationer, **Situation 1** og **Situation 2**.

C – Bestem i **Situation 1** den dimensionsgivende trafikbelastning, der i rundkørslens dimensioneringsperiode optræder på strækningen mellem den vestlige og den sydlige vejgren, hvis trafikfordelingen i krydset svarer til anførte, 25 år gamle tælling. Angiv resultatet i millioner $\text{Æ}10$ -aksler med to decimaler.

D – Foran hvilken vejgren er i **Situation 1** den dimensionsgivende trafikbelastning størst?

E – Bestem i **Situation 2** den dimensionsgivende trafikbelastning, der i rundkørslens dimensioneringsperiode optræder på strækningen mellem den vestlige og den sydlige vejgren, hvis man (for at være på den sikre side) antager, at al tung trafik fra de alle vej-

grenene forlader krydset ad den fjerneste frakørsel. Angiv resultatet i millioner $\text{\AA}10$ -aksler med to decimaler.

F – *Hvad betyder forskellen mellem dine resultater i **Situation 1** og **Situation 2** for dimensioneringen af vejbelægningen, og hvilke foranstaltninger giver det dig anledning til at anbefale?*

Opgave 67. * Bæreevne – O-2011† (2 %)

En kohæsionsjord har fået målt sin CBR-værdi til 4,81. Hvilken E_m -værdi kan anvendes for denne jord ved en bæreevneberegning?

a: $E_m = 36$ MPa. **b:** $E_m = 48$ MPa. **c:** $E_m = 60$ MPa. **d:** $E_m = 72$ MPa.

Opgave 68. * Bæreevne – O-2011† (2 %)

På en lokalvej, der bygges på frostfarlig underbund, forventes der at køre omkring 50 lastbiler pr. døgn (begge retninger i alt). Hvad er den mindste belægningstykkelse under hensyntagen til frosthævningsrisiko?

a: 600 mm. **b:** 700 mm. **c:** 800 mm. **d:** 900 mm.

Opgave 69. * Bæreevne – O-2011† (2 %)

En vejbefæstelse skal bære $N_{\text{\AA}10} = 8.000.000$ ækvivalente 10-ton akseltryk i sin dimensioneringsperiode. Befæstelsen opbygges af fleksible lag (skærvemastiks og grusasfaltbeton) med lav penetration, oven på et ubundet bærelag af skærvemacadam og bundsikringssand. Hvor stor må den tilladelige lodrette trykspænding på skærvemacamlaget være ved dimensionering af befæstelsen?

a: 0,12 MPa. **b:** 0,24 MPa. **c:** 0,36 MPa. **d:** 0,48 MPa.

Opgave 70. * Bæreevne – O-2012† (4 %)

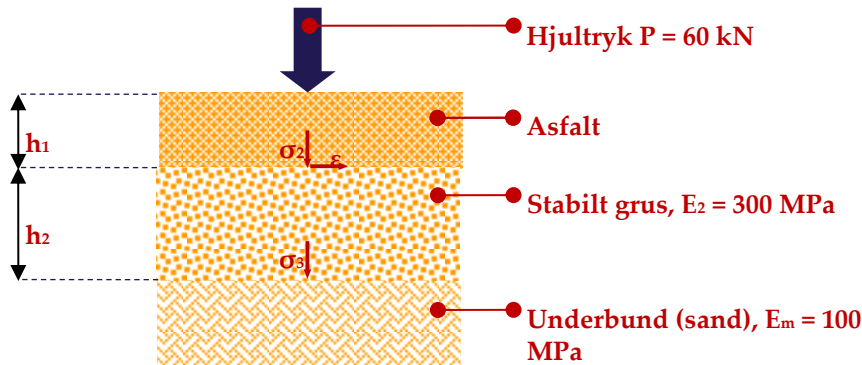
En vejbefæstelses bundne lag ønskes opbygget af et slidlag af semifleksibelt materiale (B70/100) ovenpå modificeret asfaltbindebeton (ABB) og grusasfaltbeton type 2 (B40/60).

A – Angiv hvert af de tre dellags E -værdier og de maksimale lagtykkelser, hvori de kan udlægges.

B – Bestem E_T -værdien af asfaltlaget i vejbefæstelsen, hvor hastigheden er 5 km/h, og hvor hvert af de tre dellag udlægges i maksimal lagtykkelse. Angiv resultatet i hele MPa.

Opgave 71. Bæreevne

For en 2-sporet vej er dimensioneringstrafikbelastningen (det akkumulerede antal tunge akselpassager i dimensioneringsperioden) anslået til $N = 0,6 \cdot 10^6$ $\text{\AA}10$ -aksler per vognbane.



Vejen ligger på frostsikker sandjordsunderbund, $E_m = 100$ MPa. Vejbefæstelsen opbygges som et trelags-system, med de E -værdier, der er angivet i hosstående figur. Det er foreslået at opbygge vejens asfalter af 30 mm asfaltbeton (B70/100), 60 mm GAB0 (B70/100) og 100 mm GAB1 (B70/100).

Befæstelsen dimensioneres efter formlerne i »Vej- og Trafikteknik – Design – Vejbefæstelser«.

Det dimensionsgivende hultryk er $P = 60$ kN, svarende til et kontaktryk på $\sigma_0 = 0,70$ MPa og et cirkulært kontaktareal med radius 165 mm. Poissons forhold regnes overalt til $\nu = 0,35$.

A – Bestem den resulterende E_1 -værdi af det samlede asfalterlag.

B – Bestem tilladelig tøjning i undersiden af asfalterlaget.

C – Bestem tilladelig lodret trykspænding på overfladen af det stabile grusbærelag.

D – Bestem den optrædende tøjning i undersiden af asfalterlaget. Beregn og angiv undervejs asfalterlagets ækvivalente tykkelse (i tøjningsmæssig henseende) samt krumningsradius i oversiden af det stabile grusbærelag.

E – Bestem den optrædende lodrette trykspænding på overfladen af det stabile grusbærelag. Beregn og angiv undervejs asfalterlagets ækvivalente tykkelse (i trykspændingsmæssig henseende).

F – Vurdér på baggrund af svarene i spørgsmål D og E, hvorvidt asfalterlaget har tilstrækkelig tykkelse og styrke.

G – Bestem tilladelig lodret trykspænding på overfladen underbunden.

H – Bestem den nødvendige tykkelse af det stabile grusbærelag. Eftervis, at den optrædende lodrette trykspænding på overfladen af underbunden ikke overstiger den tilladte værdi.

Asfalterlagenes tykkelse og styrke fastholdes som beskrevet, mens det stabile grusbærelags tykkelse øges til 400 mm.

Denne befæstelse ønskes vurderet under de ændrede forudsætninger, at det dimensionsgivende hultryk hæves til $P = 70$ kN,

svarende til et kontaktryk på $\sigma_0 = 0,90$ MPa og et cirkulært kontaktareal med radius 157 mm. Dimensioneringstrafikbelastningen er uændret $N = 0,6 \cdot 10^6$ Æ10-aksler per vognbane.

I – Bestem og vurder den tilladte og den optrædende tøjning ε samt de tilladte og de optrædende normalspændinger σ_2 , σ_3 under de ændrede forudsætninger.

J – Bestem den akkumulerede Æ10-belastning (»restbæreevnen«), som den beskrevne belægning (190 mm asfaltlag (B70/100) plus 400 mm stabilt grus) kan klare, når det dimensionsgivende hjultryk og kontaktryk er som angivet i spørgsmål I.

Opgave 72. * Bæreevne – R-2011 (40 %)

En ny vej skal dimensioneres for en trafik, der er opgjort til $N_{\text{Æ10}} = 1.000.000$ Æ10-aksler i belægningens dimensioneringsperiode.

Det er besluttet, at befæstelsens bundne lag skal bestå af 80 mm GAB 1 (B 40/60) og 100 mm semifleksibel belægning (B 70/100). Disse 180 mm bunden belægning kan regnes at have en vægtet E-værdi på $E_1 = 6111$ MPa.

Vejen vil på en strækning komme til at ligge på ualmindelig god råjord, bestående af velgraderet grus med en E-værdi på $E_m = 300$ MPa.

På denne delstrækning ønskes etableret et bærelag af skærvemacadam (SKM).

Der dimensioneres for et hjultryk, $P = 60$ kN, et kontaktryk $\sigma_0 = 0,70$ MPa, og en cirkulært kontaktflade med radius $a = 165$ mm. Poissons forhold regnes at være $\nu = 0,35$ for alle materialer.

A – Bestem hvor tykt skærvemacadamlaget skal være – angiv løsningen i mm uden decimaler.

B – Angiv hvor stor den tilladelige tøjning, ε_h , i undersiden af de bundne belægningslag må være – angiv resultatet som en decimalbrøk med seks decimaler.

C – Angiv hvor stor den aktuelt optrædende tøjning, ε_a , i undersiden af de bundne belægningslag er – angiv resultatet som en decimalbrøk med seks decimaler.

D – Angiv hvor stor den tilladelige trykspænding, $\sigma_{2,\text{till}}$, i oversiden af skærvemacadamlaget må være – angiv resultatet som i MPa med tre decimaler.

E – Angiv hvor stor den aktuelt optrædende trykspænding, σ_2 , i oversiden af skærvemacadamlaget er – angiv resultatet som i MPa med tre decimaler.

F – Angiv hvor stor den tilladelige trykspænding, $\sigma_{m,till}$, i oversiden af råjorden må være – angiv resultatet som i MPa med tre decimaler.

G – Angiv hvor stor den aktuelt optrædende trykspænding, σ_m , i oversiden af råjorden er – angiv resultatet som i MPa med tre decimaler.

Opgave 73. * Bæreevne – 0-2015 (20 %)

En bygade med skiltet hastighed 60 km/h bærer en trafik, som over en given dimensioneringsperiode kan opgøres til $N_{\text{Æ10}} = 750.000$ Æ10-aksler. Underbunden består af frostsikkert sand, $E_m = 100$ MPa, og vejbefæstelsen er opbygget af:

- 40 mm asfaltbeton, AB (160/220): $E = 1000$ MPa
- 60 mm grusasfaltbeton type 0, GAB 0 (70/100): $E = 2000|3000$ MPa
- 90 mm grusasfaltbeton type 1, GAB 1 (70/100): $E = 2000|3000$ MPa
- 340 mm stabilt grus type I (SG I): $E = 350$ MPa

Ved dimensioneringer regnes der med et hjultryk $P = 60$ kN, et kontakttryk $\sigma_0 = 0,70$ MPa, og en cirkulær kontaktflade med radius $a = 165$ mm. Poissons forhold regnes at være $\nu = 0,35$ for alle materialer.

A – Eftervis, at vejbefæstelse kan modstå de forventede tøjnings- og spændingspåvirkninger i dimensioneringsperioden.

Vejmyndigheden har besluttet, at ændre den skiltede hastighedsbegrænsning på bygaden til 30 km/h. Det forudsættes, at hastighedsbegrænsningen har fuld effekt.

B – Bestem den dimensionsgivende trafikbelastning, som vejbefæstelsen gennem sin levetid vil være i stand til at bære under denne ændrede forudsætning. Angiv resultatet i millioner Æ10-aksler med to decimaler. Angiv endvidere forventede tøjnings- og spændingspåvirkninger ved den dimensionsgivende trafikbelastning, der er bestemt.

Opgave 74. * Bæreevne – R-2012 (30 %)

I en ny udstykning skal en 3,5 m bred fællessti dimensioneres. Stien, der i alt er cirka 1 km lang, skal indgå i hovedstinettet, og den skal være attraktiv at færdes på året rundt. Den påregnes den bliver holdt glatførebekæmpet og sneryddet alle hverdage i vinterhalvåret. Stien har herudover funktioner dels som brandvej, dels som adgangsvej til nærområdets festplads, hvortil der lejlighedsvis påregnes et mindre antal tunge transportere. På den baggrund er det vurderet at vejen vil have en dimensioneringstrafik på 5000 Æ10-aksler fordelt over en levetid på 20 år.

Stien ligger på frosttvivlsom underbund (fed, kalkholdig moræne-kalk), hvis E -værdi sættes til $E_m = 20$ MPa.

Stiens belægning ønskes opbygget af: 15 mm pulverasfalt (PA) 250/330; 55 mm grusasfaltbeton type I (GAB I) 70/100; 150 mm stabilt grus, kvalitet II (SB II) og 280 mm bundsikringslag, kvalitet II (BL II).

Ved dimensionering af befæstelsen kan der regnes med, at hjulla-
sten er $P = 60$ kN, at kontaktrykket er $\sigma_0 = 0,70$ MPa, og at radius
i kontaktarealet er $a = 165$ mm.

Der kan endvidere regnes med, at den tunge trafik kører på stien
med en hastighed på 10 km/h, således at hastighedskorrektions-
faktoren for asfaltlagenes E -værdier kan regnes til $F_E = 0,5$.

**A – Vurder og begrund om belægningsopbygningen indfrier kra-
vene til forebyggelse af risiko for frosthævning.**

**B – Eftervis, at stiens belægning er dimensioneret tilstrækkeligt
kraftigt. Sammenstil resultaterne fra beregningerne i de 20 hvide
celler i hosstående skema med angivelse af det relevante antal
cifre.**

**C – Sammenhold den beregnede løsning med vejreglernes katalog-
løsning med slidlag af pulverasfalt. Vurder og begrund, om kata-
logløsningen kan forventes at være tilstrækkeligt kraftigt dimen-
sioneret.**

**D – Vurder og begrund hvilken af de to belægningsopbygninger,
det er mest attraktivt at anlægge.**

Levetid:	20	år	$N_{\text{Æ}10} =$	5000	Æ10	$N_{\text{Æ}10} =$		Æ10/år
$\sigma_0 =$	0,70	MPa	$a =$	165	mm	Trafikklasse		
Asfalt (PA + GAB I)	$h_1 =$	70	mm	$E_1 =$		MPa	$\varepsilon_{\text{till}} =$	$\times 10^{-6}$
$f_\varepsilon =$	$h_\varepsilon =$		mm	$R =$		m	$\varepsilon_{\text{akt}} =$	$\times 10^{-6}$
Stabilt grus (SG II)	$h_2 =$	150	mm	$E_2 =$	300	MPa	$\sigma_{2\text{till}} =$	MPa
$f_1 =$	$h_{e,2} =$		mm				$\sigma_{2\text{akt}} =$	MPa
Bundsikringslag	$H_3 =$	280	mm	$E_3 =$	100	MPa	$\sigma_{3\text{till}} =$	MPa
$f_2 =$	$h_{e,3} =$		mm				$\sigma_{3\text{akt}} =$	MPa
Moræneler				$E_m =$	20	MPa	$\sigma_{4\text{till}} =$	MPa
$f_3 =$	$h_{e,4} =$		mm				$\sigma_{4\text{akt}} =$	MPa

Opgave 75. * Bæreevne - O -2013 (22 %)

Det er beregnet, at første etape et nyt, stort industriområde vil
generere en trafik på 300.000 Æ10 over de 15 år, som kommunen
har valgt at dimensionere områdets vejanlæg for. Området ligger

på gode, tykke og frostfri aflejring af grus, og det er bestemt, at der kan regnes med en E -værdi på $E_m = 200$ MPa.

Industriområdets stamvej ligger i afgravning, og for at reducere jordarbejdet er det valgt at arbejde med en lille koblingshøjde på 400 mm, der er disponeret således: 20 mm asfaltbeton (AB) B70/100 med $E = 2000$ MPa (indtil 100 mm dybde); 80 mm grus-asfaltbeton type I (GAB I), B40/60 med $E = 3000$ MPa (indtil 100 mm dybde) samt 300 mm singelsmakadam (SIK) med $E = 600$ MPa.

Ved dimensioneringen er der regnet med, at hjullasten er $P = 60$ kN, at kontaktrykket er $\sigma_0 = 0,70$ MPa, og at radius i kontaktarealet er $a = 165$ mm.

Dimensioneringen er sammenfattet i nedenstående skema.

Levetid:	15	år	$N_{\text{Æ10}} =$	300.000	Æ10	$N_{\text{Æ10}} =$		Æ10/år
$\sigma_0 =$	0,70	MPa	$a =$	165	mm	Trafikkklasse		
Asfalt (AB + GAB I)		$h_1 =$	100	mm	$E_1 =$	2779	MPa	$\epsilon_{\text{till}} =$ 315 $\times 10^{-6}$
$f_\epsilon =$	1,22	$h_\epsilon =$	203	mm	$R =$	269	m	$\epsilon_{\text{akt}} =$ 186 $\times 10^{-6}$
Singelsmakadam		$h_2 =$	300	mm	$E_2 =$	600	MPa	$\sigma_{2\text{till}} =$ 0,472 MPa
$f_1 =$	0,95	$h_{e,2} =$	158	mm			$\sigma_{2\text{akt}} =$	0,469 MPa
Grus					$E_m =$	200	MPa	$\sigma_{4\text{till}} =$ 0,147 MPa
$f_3 =$	0,68	$h_{e,4} =$	442	mm			$\sigma_{4\text{akt}} =$	0,121 MPa

A – Bestem den trafikklasse, som stamvejen er dimensioneret for.

På grund af stærkt forbedrede konjunkturer beslutter kommunen at fremskynde byggemodningen af de øvrige etaper af industriområdet. Disse etaper trafikforsynes ad den samme stamvej, og beslutningen betyder, at vejen i stedet skal bære en seks gange så stor årlig trafikbelastning, altså i alt $0,12 \times 10^6$ Æ10 per år.

Beslutningen bliver taget på et tidspunkt, da stamvejen er under anlæg: man har afsluttet planum og har etableret singelsmakadamlaget, og man har sat kantstene langs vejen. For at fastholde den projekterede kantstenslysning og for at undgå at opbryde det udførte anlægsarbejde, beslutter man at udføre den bundne belægning oven på singelsmakadamlaget, så den kommer til at bestå af: 20 mm asfaltbeton (AB) B40/60 med $E = 3000$ MPa (indtil 100 mm dybde) og 80 mm semifleksibel belægning B70/100 med $E = 8000$ MPa (indtil 100 mm dybde).

B – Bestem den resulterende E -værdi for det bundne asfaltlag i den nye belægning. Angiv resultatet i MPa uden decimaler.

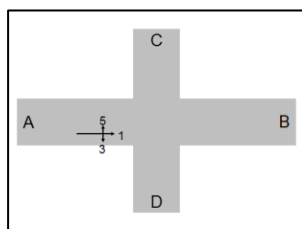
En beregning af den nye belægning viser, at man over en 15 års dimensioneringsperiode (samlet trafiklast $N_{\text{Æ10}} = 1,80 \times 10^6$ Æ10) får følgende sammenhænge af kritiske parametre:

	Tilladt	Aktuelt
Træktøjning i asfaltlagets underside, ϵ	223×10^6	146×10^6
Trykspænding på singelsmakadamlaget, σ	0301 MPa	0,356 MPa
Trykspænding på underbundens grus, σ	0,094 MPa	0,100 MPa

C – Bestem hvor mange Æ10-akselpassager belægningens singelsmakadamlag kan bære over sin levetid, henholdsvis hvor mange Æ10-akselpassager underbundens grus kan bære over belægningens levetid. Angiv resultaterne i 10^6 Æ10 med to decimaler (fx $1,80 \times 10^6$ Æ10).

D – Bestem hvor mange hele år den nye vejbelægning kan forventes at holde. Angiv resultatet i år uden decimaler.

Opgave 76. * Bæreevne – O-2014 4 (25 %)



I et fuldt kanaliseret vejkryds er køretøjernes hastighed i opmarchbanen for den venstresvingende trafikstrøm, trafikstrøm 5, fra vejgren A (jævnfør hosstående skitse) bestemt til 5 km/h.

Opmarchbanens belægning skal dimensioneres, og det er fundet, at der er en dimensionsgivende trafik på i alt $0,600 \times 10^6$ Æ10-aksler over en 15 års periode.

Belægningens asfaltbundne lag er foreslået opbygget således: 30 mm asfaltbeton (AB) og 70 mm grusasfaltbeton, type 0 (GAB 0); begge lag med bitumen 70/100 og med en E-værdi på 2000 MPa i dybder mindre end 100 mm under overfladen og med en E-værdi på 3000 MPa i større dybder.

Under de asfaltbundne lag tænkes udlagt 150 mm knust beton (KB) med en E-værdi på 400 MPa.

A – Hvor stor er den årlige Æ10-belastning af opmarchbanen i dimensioneringsperioden? Angiv svaret i Æ10-aksler med 3 betydende cifre.

B – Hvilken trafikklasse kan opmarchbanen placeres i?

C – Beregn hvor stor den tilladelige tøjning i undersiden af opmarchbanens befæstelses asfaltlag må være, hvis asfaltlaget skal kunne holde til den dimensionsgivende trafik over dimensioneringsperioden. Angiv svaret i mikrostrains (10^{-6}) med 3 betydende cifre.

D – Beregn hvilken værdi man ved dimensioneringen af opmarchbanen skal tillægge asfaltlagets resulterende E-værdi. Angiv resultatet i MPa med 3 betydende cifre.

Der regnes efterfølgende med en Æ10-standardaksel med hjullaften $P = 60$ kN, kontaktrykket $\sigma_0 = 0,70$ MPa og kontaktarealets radius $a = 165$ mm. Poissons forhold sættes til $\nu = 0,35$.

E – Beregn hvor stor en tøjning passagen af én $\text{Æ}10$ -standardaksel vil give anledning til i asfaltlaget. Angiv resultatet i mikrostrains (10^{-6}) med 3 betydende cifre.

F – Beregn levetiden af den foreslåede asfaltbelægning af opmarchbanen. Angiv resultatet i hele år (uden decimaler).

Det antages, at trykspændingen på det ubundne bærelag af knust beton viser sig at blive for høj med den valgte asfaltbelægning.

G – Angiv bogstav for den/de af følgende muligheder, der i så fald vil kunne afbøde problemet:

- Øget styrke (E -værdi) af asfaltlaget.
- Øget tykkelse af asfaltlaget.
- Øget styrke (E -værdi) af det ubundne bærelag.
- Øget tykkelse af det ubundne bærelag.
- Bundsikring til frostsikker dybde.
- Kalkstabilisering af råjorden.

Opgave 77. * Bæreevne – 0-2015 (25 %)

En vej i det åbne land skal have udskiftet hele sin vejbefæstelse. Den nye vejbefæstelse dimensioneres for en trafikbelastning på i alt $N_{\text{Æ}10} = 1.500.000$ $\text{Æ}10$ -aksler i belægningens dimensioneringsperiode.

Underbunden består af frostsikkert grus, $E_m = 300$ MPa.

Vejmyndigheden har planlagt, at opbygge vejbefæstelsen således:

- 25 mm asfaltbeton, AB (160/220): $E = 1000$ MPa
- 70 mm grusasfaltbeton type 0, GAB 0 (70/100): $E = 2000|3000$ MPa
- 120 mm grusasfaltbeton type 2, GAB 2 (40/60): $E = 3000|5000$ MPa
- 150 mm singelsmacadam (SIM): $E = 600$ MPa

Der dimensioneres for et hjultryk $P = 60$ kN, et kontaktryk $\sigma_0 = 0,70$ MPa, og en cirkulær kontaktflade med radius $a = 165$ mm.

Levetid:		år	$N_{\text{Æ}10} =$	$1.5 \cdot 10^6$	$\text{Æ}10$	$N_{\text{Æ}10} =$		$\text{Æ}10/\text{år}$
$\sigma_0 =$	0,70	MPa	$a =$	165	mm	Trafikklasse		
AB+GAB0+GAB2	$h_1 =$	215	mm	$E_1 =$		MPa	$\epsilon_{\text{till}} =$	$\times 10^{-6}$
$f_\epsilon =$	$h_\epsilon =$		mm	$R =$		m	$\epsilon_{\text{akt}} =$	$\times 10^{-6}$
SIM	$h_2 =$	150	mm	$E_2 =$	600	MPa	$\sigma_{2\text{till}} =$	MPa
$f_1 =$	$h_{e,2} =$		mm				$\sigma_{2\text{akt}} =$	MPa
Frostsikkert grus				$E_m =$	300	MPa	$\sigma_{4\text{till}} =$	MPa
$f_3 =$	$h_{e,4} =$		mm				$\sigma_{4\text{akt}} =$	MPa

Vejbestyrelsens forslag

Poissons forhold regnes at være $\nu = 0,35$ for alle materialer.

A – *Eftervis ved brug af den analytisk-empiriske metode, at den planlagte vejbefæstelse kan modstå de forventede tøjnings- og spændingspåvirkninger i dimensioneringsperioden.*

Vejmyndigheden har bedt om forslag til befæstelsesopbygninger, der alt i alt er tyndere end den foreslåede opbygning. Vejmyndigheden er blevet præsenteret for to økonomisk attraktive forslag til alternativ opbygning af vejbefæstelsen. Alternativerne adskiller sig fra vejbestyrelsens forslag på de parametre, der er markeret med **rødt**:

Alternativ 1	Alternativ 2
25 mm asfaltbeton, AB (160/220): $E = 1000$ MPa	15 mm asfaltbeton, AB (40/60): $E = 3000$ MPa
70 mm grusasfaltbeton type 0, GAB 0 (70/100): $E = 2000 3000$ MPa	65 mm grusasfaltbeton type 0, GAB 0 (40/60): $E = 3000 5000$ MPa
120 mm grusasfaltbeton type 2, GAB 2 (40/60): $E = 3000 5000$ MPa	120 mm grusasfaltbeton type 2, GAB 2 (40/60): $E = 3000 5000$ MPa
95 mm skærvemacadam (SKM): $E = 1000$ MPa	150 mm singelsmacadam (SIM): $E = 600$ MPa

B – *Vurder og kommenter de to alternative forslag til opbygningen af vejbefæstelsen. Angiv eventuelle forslag til at forbedre disse belægningsopbygninger.*

Levetid:		år	$N_{\text{Æ}10} =$	$1.5 \cdot 10^6$	Æ10	$N_{\text{Æ}10} =$		Æ10/år
$\sigma_0 =$	0,70	MPa	$a =$	165	mm	Trafikklasse		
AB+GAB0+GAB2	$h_1 =$	215	mm	$E_1 =$		MPa	$\epsilon_{\text{till}} =$	$\times 10^{-6}$
$f_\epsilon =$	$h_\epsilon =$		mm	$R =$		m	$\epsilon_{\text{akt}} =$	$\times 10^{-6}$
SKM	$h_2 =$	95	mm	$E_2 =$	1000	MPa	$\sigma_{2\text{till}} =$	MPa
$f_1 =$	$h_{e,2} =$		mm				$\sigma_{2\text{akt}} =$	MPa
Frostsikkert grus				$E_m =$	300	MPa	$\sigma_{4\text{till}} =$	MPa
$f_3 =$	$h_{e,4} =$		mm				$\sigma_{4\text{akt}} =$	MPa

Alternativ 1

Levetid:		år	$N_{\text{Æ}10} =$	$1.5 \cdot 10^6$	Æ10	$N_{\text{Æ}10} =$		Æ10/år
$\sigma_0 =$	0,70	MPa	$a =$	165	mm	Trafikklasse		
AB+GAB0+GAB2	$h_1 =$	200	mm	$E_1 =$		MPa	$\epsilon_{\text{till}} =$	$\times 10^{-6}$
$f_\epsilon =$	$h_\epsilon =$		mm	$R =$		m	$\epsilon_{\text{akt}} =$	$\times 10^{-6}$
SIM	$h_2 =$	150	mm	$E_2 =$	600	MPa	$\sigma_{2\text{till}} =$	MPa
$f_1 =$	$h_{e,2} =$		mm				$\sigma_{2\text{akt}} =$	MPa
Frostsikkert grus				$E_m =$	300	MPa	$\sigma_{4\text{till}} =$	MPa
$f_3 =$	$h_{e,4} =$		mm				$\sigma_{4\text{akt}} =$	MPa

Alternativ 2

OPGAVESVAR

1 **A:** 80 fordelt med 40 á 60 km/h og 40 á 120 km/h. **B:** $V_T = 90$ km/h. **C:** 15 fordelt med 10 á 60 km/h og 5 á 120 km/h. **D:** $V_S = 80$ km/h. **E:** Alle biler på vejen har samme hastighed.

2 **a:** 2384 personbilenheder.

3 **b:** 849 personbilenheder.

4 **b:** 1.700 pe/h/retning.

5 **b:** Som forholdet mellem trafikintensiteten og vejstrækningens kapacitet.

6 **A:** $N_{maks} = n \times N_{ideal} \times b \times s = 1 \times 1.700 \times 0,68 \times 0,98 = 1098$ pe/h/retning. **B:** Tekstsvare.

7 **c:** Hastigheden på den overordnede strøm.

8 **A:** Tekstsvare.

9 **A:** Tekstsvare.

10 **A:** Tekstsvare.

11 **A:** $N_{Max} = 520$ pe/h. **B:** $B = 0,69$. **C:** $t_m = 23$ s. **D:** Tekstsvare.

12 **A:** Foran A: 240 P + 25 L; Foran B: 320 P + 35 L; Foran C: 220 P + 35 L; Foran D: 280 P + 40 L. **B:** Foran A: 277,5 pe/h; Foran B: 372,5 pe/h; Foran C: 272,5 pe/h; Foran D: 340 pe/h. **C:** Tekstsvare. **D:** $\tau = 6,7$ s; $\delta = 3,7$ s. **E:** $G = 667$ pe/h. **F:** $B = 0,55$. **G:** $t_m = 13$ s/køretøj.

13 **A:** $N_M = 320,5$ personbilækvilenter. **B:** $of = 0,73$. **C:** Trafikstrømmene 2 og 4. **D:** $\tau_{vægtet} = 5,5$ sekunder.

14 **A:** **d:** Sidehældningen i den enkelte tilfart. **B:** **c:** Længdegradienten i den enkelte tilfart.

15 **c:** 6 køretøjer.

16 **A:** $U = a \times N^p \times L = 1,74$ uheld/år. **B:** $U_{nedre} = -0,35$ uheld/år; $U_{øvre} = 4,83$ uheld/år. **C:** $P(X=x) = 15,4$ %. **D:** Tekstsvare.

17 **A:** $U_{forventet} = 1,5$ uheld. **B:** Tekstsvare.

18 **A:** Tekstsvare. **B:** Tekstsvare. **C:** Tekstsvare.

19 **c**: Sikrere biler.

20 **c**: Stigende kollektiv trafik.

21 **b**: Bompeng.

22 **c**: Ca. 45.000 tilskadekomne.

23 **b**: En hverdag, sidst på formiddagen.

24 **b**: Den hastighed man af hensyn til fremkommelighed, trafik-sikkerhed og miljø ønsker, at førerne af personbiler overholder.

25 **A**: Tekstsv.

26 **A**: Tekstsv.

27 **A**: Tekstsv.

28 **A**: Tekstsv. **B**: Tekstsv. **C**: Tekstsv. **D**: Tekstsv. **E**: Tekstsv. **F**: Tekstsv.

29 **A**: Tekstsv. **B**: Tekstsv. **C**: Tekstsv. **D**: Tekstsv. **E**: Tekstsv.

30 **A**: Grafisk svar (A—B. A—B—C. A—G—•—F—D. A—G—E. A—G—•—F. A—G hvor • betegner den navnløse knude). **B**: A—G—F—D. A—G—F. B—F—E. B—F. C—F—G. D—F—G. F—G.

31 **b**: Et (rute-)neg.

32 **c**: Ortofoto.

33 **a**: Matrikelkort.

34 **A**: $L_1 = 670,8$ m; $L_2 = 632,5$ m; Cirkelbue = 392,7 m. **B**: $T_1 =$ station 463,7; $T_2 =$ station 856,4; $C =$ station 1.281,8.

35 **A**: $\alpha = 14,400^\circ$. **B**: $\beta = 79,200^\circ$. **C**: $\delta = 14,400^\circ$. **D**: $R_1 = 25,00$ m. **E**: $R_3 = 55,00$ m. **F**: $T_1 = 19,13$ m.

36 **A**: $U_P = 3,50$ m (lig »Hovedvejs« vognbanebredde). **B**: $V_P = 10.085,97$ m. **C**: $U_B = 4,29$ m. **D**: $V_B = 10.073,06$ m.

37 **A**: $R_{GI} = 300$ m. **B**: $\Delta T = 61,2$ m. **C**: Flytning $\Delta H = 17,4$ m.

38 **c**: 70 ‰.

39 **A**: 120 ‰. **B**: Tekstsv.

40 **A**: $f_r = 0,46$. **B**: Tekstsv. **C**: Tekstsv.

41 **A**: 80 km/h. **B**: $V_{fri} = 42$ km/h.

42 **A**: $V_{max} = 40$ km/h. **B**: $K = 0,20$. **C**: $L_B = 63$ m. **D**: $V_{frihånd} = 18$ km/h. **E**: $L_{B,motor} = 469$ m. **F**: $L_{bro} = 100$ m. **G**: Tekstsv.

43 **A:** $L_S = 168$ m. **B:** $\Delta L_S = 1$ m. **C:** $R_H = 784$ m. **D:** 1495 m. **E:** $d_{sh} = 5,9$ m.

44 **A:** $f_{r,akt} = 0,133$. **B:** $V_{fri} = 37$ km/h. **C:** $R_H = 305$ m. **D:** Tekstsvaer. **E:** $\beta = 1,971^\circ$. **F:** $\gamma = 0,034^\circ$.

45 **A:** $R_V = 24.805$ m. **B:** $V_p = 127$ km/h. **C:** $V_p = 129$ km/h. **D:** $V_p = 130$ km/h. **E:** $V_p = 148$ km/h. **F:** Tekstsvaer.

46 **A:** $\alpha_t = -2,577^\circ$. **B:** $\Delta E_{Pot} = -10,6$ J. **C:** $\Delta E_{Rul} = -3,5$ J. **D:** $F_L = 12,6$ N. **E:** $V_0 = 24,7$ km/h. **F:** $V_{50m} = 21$ km/h (findes ved iteration).

47 **A:** $V_{fri} = 30$ km/h. **B:** $K = 0,25$. **C:** $\beta = 2,79^\circ$. **D:** $\gamma = 0,07^\circ$. **E:** $\gamma_1 = 0,00^\circ$. **F:** $\mu_{udnyttet,1} = 0,00$. **G:** $\gamma_2 = 5,82^\circ$. **H:** $\mu_{udnyttet,2} = 0,10$. **I:** Tekstsvaer. **J:** Tekstsvaer.

48 **A:** $L = 422$ m. **B:** $L = 138$ m.

49 **A:** $L = 137$ m. **B:** $V = 32$ km/h.

50 **A:** $v = 80$ km/h. **B:** $L_b = 66$ m. **C:** Tekstsvaer.

51 **A:** $S_{Stop} = 187$ m. **B:** $d = 6,24$ m. **C:** 1,24 m. **D:** Tekstsvaer.

52 **A:** $L_{stop,Vd} = 253$ m $< S_{oversigt} = 255$ m – QED. **B:** $f_{r,till} = 0,080 \Rightarrow i_r = 68$ ‰, $V_{fri} = 88$ km/h. **C:** Tekstsvaer baseret på $V_d = 100,5$ km/h. **D:** Tekstsvaer baseret på $V_d = 58,4$ km/h. **E:** Tekstsvaer.

53 **A:** Tekstsvaer.

54 **A:** Komfort; $R_{v,konkav,min} = 756$ m. **B:** $S_{v,konkav} = 38,80$ m. **C:** $R_{v,konveks,min} = 4513$ m. **D:** $S_{v,konveks} = 449,80$ m (451,30 m ved tilnærmet beregning). **E:** $h_{konstant} = 1,46$ m. **F:** $L = 584,65$ m ≈ 600 m.

55 **A:** Relevante kørselsdynamiske krav eftervises alle at være tilgodeset. **B:** Sydlig broende har kote $3,35 > 3,30$. **C:** Højest tilladte kote 1,10; gælder for brodækkets to sider (station 1.509,98 henholdsvis 1.523,98). **D:** Station 1.470,00, kote 2,75. P_A station 1.479,98, kote 2,38. Station 1.497,00, kote 1,53. P_B station 1.516,98, kote 1,03. Station 1.524,98, kote 1,11. **E:** Længdegradient eftervises. Kote i station 1.509,98 og i station 1.523,98: $1,09 < 1,10$.

56 **d:** 36,5 m.

57 **b:** 0,50 m.

58 **b:** 100 mm.

59 **b:** 20 m.

60 **d:** 53 m.

61 **a:** 0,84 $\text{Æ}10$.

62 **d:** 0,70 MPa.

63 **A:** 430 $\text{Æ}10$ -aksler. **B:** 0,93 $\text{Æ}10$ -aksler pr. kjøretøy over 6 ton. **C:** 3,1 $\text{Æ}10$ -aksler. **D:** 143.217 $\text{Æ}10$ -aksler. **E:** 1.432.000 $\text{Æ}10$ -aksler. **F:** 1.805.000 $\text{Æ}10$ -aksler. **G:** 4.010.000 $\text{Æ}10$ -aksler. **H:** Tekst-svar.

64 **A:** $f_{\text{Æ}10} = K_F \times K_K \times K_R \times F_{SS} \times F_{\text{Æ}10} = 0,40$. **B:** $N_{\text{bybus, uge}} = 3252$ busser. **C:** $N_{\text{Æ}10, \text{bybus}} = f_{\text{Æ}10} \times N_{\text{bybus, uge}} \times 52 \times \text{år} = 1,4 \times 10^6 \text{ Æ}10$. **D:** Trafikklassse T4.

65 **A:** Tekst-svar. **B:** $N_{\text{Æ}10} = 0,530 \times 10^6 \text{ Æ}10$ -aksler. **C:** $\varepsilon_h = 282 \times 10^{-6}$. **D:** $N_{\text{Æ}10, \text{BUS}} = 0,132 \times 10^6 \text{ Æ}10$ -aksler.

66 **A:** $K = 1,2$. **B:** $P = 22,0$. **C:** $N_{\text{Æ}10, \text{Vest-Syd}, 1} = 4,86 \cdot 10^6 \text{ Æ}10$ -aksler. **D:** Foran veggrenen mod nord. **E:** $N_{\text{Æ}10, \text{Vest-Syd}, 2} = 7,79 \cdot 10^6 \text{ Æ}10$ -aksler. **F:** Tekst-svar.

67 **b:** $E_m = 48 \text{ MPa}$.

68 **b:** 700 mm.

69 **c:** 0,36 MPa.

70 **A:** Semifleksibelt (B70/170): 8000 MPa – 80 mm; ABB (mod): 3000 MPa | 5000 MPa – 90 mm; GAB2 (B40/60): 3000 MPa | 5000 MPa – 180 mm. **B:** $E_1 = 2.184 \text{ MPa}$.

71 **A:** $E_{\text{res}} = 2440 \text{ MPa}$. **B:** $\varepsilon_{h, \text{Tilladt}} = 276 \cdot 10^{-6}$. **C:** $\sigma_{2, \text{Tilladt}} = 0,190 \text{ MPa}$. **D:** $h_e = 397 \text{ mm}$; $R = 479 \text{ m}$; $\varepsilon_a = 198 \cdot 10^{-6}$. **E:** $h_{e, 2} = 347 \text{ mm}$; $\sigma_2 = 0,184 \text{ MPa}$. **F:** Tekst-svar. **G:** $\sigma_{3, \text{Tilladt}} = 0,059 \text{ MPa}$. **H:** $h_2 = 340 \text{ mm}$; $\sigma_3 = 0,058 \text{ MPa}$. **I:** Tilladt tøjning og tilladte trykspændinger er uændrede. $\varepsilon_a = 240 \cdot 10^{-6}$; $\sigma_2 = 0,220 \text{ MPa}$; $\sigma_3 = 0,059 \text{ MPa}$. **J:** »Restbæreevnen« $N = 0,34 \cdot 10^6 \text{ Æ}10$ -aksler.

72 **A** – $h_2 = 70 \text{ mm}$ (minimumstykkelse for SKM). **B:**– $\varepsilon_h = \varepsilon_{\text{till}} = 0,000250 = 250 \times 10^{-6}$. **C:** $\varepsilon_a = 0,000074 = 74 \times 10^{-6}$. **D:** $\sigma_{2, \text{till}} = 0,600 \text{ MPa}$. **E:** $\sigma_2 = 0,228 \text{ MPa}$. **F:** $\sigma_{m, \text{till}} = 0,167 \text{ MPa}$. **G:** $\sigma_m = 0,159 \text{ MPa}$.

73 **A:** $\varepsilon_{\text{Tilladelig}} = 264 \cdot 10^{-6} > 199 \cdot 10^{-6} = \varepsilon_{\text{Aktuel}}$, $\sigma_{2, \text{Tilladelig}} = 0,212 \text{ MPa} = 0,212 \text{ MPa} = \sigma_{2, \text{Aktuel}}$; $\sigma_{3, \text{Tilladelig}} = 0,056 \text{ MPa} = 0,056 \text{ MPa} = \sigma_{3, \text{Aktuel}}$. **B:** $N_{\text{Æ}10} = 0,49 \cdot 10^6 \text{ Æ}10$ -aksler: $\varepsilon_{\text{Tilladelig}} = 286 \cdot 10^{-6} > 223 \cdot 10^{-6} = \varepsilon_{\text{Aktuel}}$, $\sigma_{2, \text{Tilladelig}} = 0,236 \text{ MPa} = 0,236 \text{ MPa} = \sigma_{2, \text{Aktuel}}$; $\sigma_{3, \text{Tilladelig}} = 0,062 \text{ MPa} = 0,060 \text{ MPa} = \sigma_{3, \text{Aktuel}}$.

74 **A:** Tekst-svar. **B:** $N_{\text{Æ}10} = 250 \text{ Æ}10/\text{år}$; Trafikklassse = T2; $E_1 = 779 \text{ MPa}$; $\varepsilon_{\text{till}} = 688 \times 10^{-6}$; $f_\varepsilon = 1,62$; $h_\varepsilon = 156 \text{ mm}$; $R = 101 \text{ m}$; $\varepsilon_{\text{akt}} = 348 \times 10^{-6}$; $\sigma_{2, \text{till}} = 0,630 \text{ MPa}$; $f_1 = ,96$; $h_{e, 2} = 92 \text{ mm}$; $\sigma_{2, \text{akt}} = 0,618 \text{ MPa}$; $\sigma_{3, \text{till}} = 0,197 \text{ MPa}$; $f_2 = 0,96$; $h_{e, 3} = 336 \text{ mm}$; $\sigma_{3, \text{akt}} =$

0,194 MPa; $\sigma_{4till} = 0,036$ MPa; $f_3 = 0,84$; $h_{e,4} = 884$ mm; $\sigma_{4akt} = 0,035$ MPa. **C:** Tekstsvar. **D:** Tekstsvar.

75 **A:** Trafikklasse T4. **B:** $E_1 = 6730$ MPa. **C:** $N_{\text{Æ10},SIM} = 0,93 \times 10^6 \text{ Æ10}$; $N_{\text{Æ10},Grus} = 1,42 \times 10^6 \text{ Æ10}$. **D:** Levetid = 7 år.

76 **A:** $N_{\text{Æ10}}/\text{år} = 40.000 \text{ Æ10-aksler pr. år}$. **B:** Trafikklasse T4. **C:** $\varepsilon_h = 276 \times 10^{-6}$. **D:** $E_1 = 800$ MPa. **E:** $\varepsilon_a = h_1/(2 \times R) = 291 \times 10^{-6}$. **F:** 11 år. **G:** A, B og C.

77 **A:** $\varepsilon_{Till} = 231 \cdot 10^{-6} > 110 \cdot 10^{-6} = \varepsilon_{Akt}$; $\sigma_{2,Till} = 0,315$ MPa = 0,192 MPa = $\sigma_{2,Akt}$; $\sigma_{m,Till} = 0,151$ MPa = 0,151 MPa = $\sigma_{m,Akt}$. Samlet tykkelse 365 mm. **B:** Alternativ 1: $\varepsilon_{Till} = 231 \cdot 10^{-6} > 84 \cdot 10^{-6} = \varepsilon_{Akt}$; $\sigma_{2,Till} = 0,542$ MPa = 0,246 MPa = $\sigma_{2,Akt}$; $\sigma_{m,Till} = 0,151$ MPa = 0,153 MPa = $\sigma_{m,Akt} \Rightarrow$ for høj trykspænding på underbunden (løses ved at øge SKM-laget med 5 mm). Samlet tykkelse 315 mm. Alternativ 2: $\varepsilon_{Till} = 231 \cdot 10^{-6} > 106 \cdot 10^{-6} = \varepsilon_{Akt}$; $\sigma_{2,Till} = 0,315$ MPa = 0,192 MPa = $\sigma_{2,Akt}$; $\sigma_{m,Till} = 0,151$ MPa = 0,151 MPa = $\sigma_{m,Akt} \Rightarrow$ OK, men tykkelse af AB-laget er mindre end minimumslagtykkelsen. for høj trykspænding på underbunden (løses ved at flytte 5 mm fra GAB 0-laget) Samlet tykkelse 350 mm.



APPENDIKS – SI-SYSTEMET

Appendikset hviler på Erhvervs- og Vækstministeriets bekendtgørelse nr. 1229 af 11. december 2009, Bekendtgørelse om det internationale enhedssystem, SI, og andre lovlige enheder. Bekendtgørelsen med tilhørende bilag kan *in extenso* findes på følgende link: www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=129152

Bekendtgørelsen

Bekendtgørelsen bestemmer, at man ved anvendelse af måleinstrumenter, ved udførelser af målinger og ved størrelsesangivelser, der udtrykkes i måleenheder, **skal** anvende forskriftsmæssige måleenheder, SI-enheder. Der gælder undtagelser, blandt andet at man inden for søfart, luftfart og jernbanetrafik fortsat kan bruge visse andre enheder, som er fastsat internationalt.

Bekendtgørelsen bestemmer endvidere, at forskriftsmæssige måleenheder er de SI-enheder, der omfattes af det internationale enhedssystem, som er vedtaget af Generalkonferencen for mål og vægt. I tilknytning hertil gælder:

- At man ved omregning fra tidligere benyttede måleenheder til det internationale systems enheder skal anvende nogle omregningsfaktorer, der står i bekendtgørelsens bilag 3.
- At SI-enheder skal angives, så det tydeligt fremgår, hvilken SI-enhed, der er tale om.

Herudover har bekendtgørelsen naturligvis straffebestemmelser, hvis bekendtgørelsens bestemmelser skulle blive tilsidesat.

SI-enhederne

Det internationale enhedssystem er baseret på syv grundenheder, der er givet i nedenstående tabel, og som hver for sig er defineret nærmere i bekendtgørelsen.

Størrelse	Navn	Symbol
Længde	meter	m
Masse	kilogram	kg
Tid	sekund	s
Elektrisk strøm	ampere	A
Termodynamisk temperatur	kelvin	K
Stofmængde	mol	mol
Lysstyrke	candela	cd

Ud fra de syv SI-grundenheder er afledt en række enheder, der også indgår i SI-systemet. En række enheder med særlige navne

og symboler er afledt direkte som produkter eller kvotienter af SI-grundhederne.

Blandt disse såkaldte kohærent afledte SI-enheder står de, der formentlig hyppigst vil optræde for en vej- og trafikingeniør, i følgende tabel.

Størrelse	Navn	Symbol	Relation
Vinkel (plan vinkel)	radian	rad	$\text{m} \cdot \text{m}^{-1}$
Rumvinkel	steradian	sr	$\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$
Frekvens	hertz	Hz	s^{-1}
Kraft	newton	N	$\text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
Tryk, mekanisk spænding	pascal	Pa	$\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$
Energi, arbejde, varmemængde	joule	J	$\text{N} \cdot \text{m}$
Effekt, energistrøm	watt	W	$\text{J} \cdot \text{s}^{-1}$
Lysstrøm	lumen	lm	$\text{cd} \cdot \text{sr}$
Belysningsstyrke	lux	lx	$\text{lm} \cdot \text{m}^{-2}$

SI-enhedernes præfikser

Store og små størrelser angives ved at forsyne SI-enhederne med et præfiks. Præfikset angiver, at der tale om en decimal over- eller underenhed. SI-systemets præfikser og deres symboler står i følgende tabel.

Faktor	Præfiks	Symbol	Faktor	Præfiks	Symbol
10^{24}	yotta	Y	10^{-1}	deci	d
10^{21}	zetta	Z	10^{-2}	centi	c
10^{18}	exa	E	10^{-3}	milli	m
10^{15}	peta	P	10^{-6}	mikro	μ
10^{12}	tera	T	10^{-9}	nano	n
10^9	giga	G	10^{-12}	pico	p
10^6	mega	M	10^{-15}	femto	f
10^3	kilo	k	10^{-18}	atto	a
10^2	hekto	h	10^{-21}	zepto	z
10^1	deka	da	10^{-24}	yocto	y

Specielt for masse-enhederne gælder, at navnene og symbolerne for decimale over- og underenheder af enheden for masse dannes ved, at præfikserne sættes foran ordet »gram« og symbolerne foran symbolet »g«, fx:

$$2 \text{ Gg} = 2 \times 10^9 \text{ g} = 2.000.000.000 \text{ g} = 2.000.000 \text{ kg} = 2 \times 10^6 \text{ kg}$$

Bemærk, at man ikke må anvende sammensatte præfikser, dvs. præfikser, der dannes ved, at flere af ovennævnte præfikser sættes sammen. Eksempelvis kan man altså **ikke** udtrykke førnævnte størrelse $2 \text{ Gg} = 2 \text{ Mkg}$.

Andre inddelinger samt tilladte, særlige enheder

Celsius-temperaturen bygger på en nulpunktsforskydning i forhold til kelvinskalaen. Et interval eller en forskel i temperatur kan altså udtrykkes enten i kelvin eller i grader celsius ($^{\circ}\text{C}$); fx: $\Delta T = 2^{\circ}\text{C} = 2\text{ K}$.

Volumen-enheden liter (l eller L) kan anvendes, fx: $2\text{ l} = 2\text{ dm}^3 = 2 \times 10^{-3}\text{ m}^3$.

Masse-enheden ton (t) kan anvendes: fx $2\text{ t} = 2\text{ Mg} = 2 \times 10^3\text{ kg}$.

Tryk-enheden bar (bar) er midlertidigt tilladt, men kun inden for et særligt anvendelsesområde: $2\text{ bar} = 2 \times 10^5\text{ Pa}$.

Areal-enheden ar (a) kan anvendes i forbindelse med størrelsen af grunde og jorde. Mangefoldet 10^2 a benævnes »hektar« (ha); fx: $2\text{ ha} = 2 \times 10^2\text{ ar} = 20.000\text{ m}^2$.

Præfikserne og deres symboler kan i øvrigt optræde i forbindelse med ovennævnte enheder og symboler.

Enheden omdrejning, som ikke har et symbol, kan anvendes uden brug af decimale over- og underenheder og uden brug af præfikser: $1\text{ omdrejning} = 1\text{ hel vinkel} = 2 \times \pi\text{ rad}$.

Vinkel-enheden nygrad eller gon (gon) kan anvendes med brug af præfikser, men uden brug af decimale over- og underenheder: $1\text{ gon} = 1 \times (\pi/200)\text{ rad}$.

Den seksagesimale vinkeldelings enhederne grad ($^{\circ}$), minut ($'$) og sekund ($''$) kan anvendes uden brug af decimale over- og underenheder og uden brug af præfikser: $1^{\circ} = 1 \times (\pi/180)\text{ rad}$; $1' = 1 \times (\pi/10800)\text{ rad}$; $1'' = 1 \times (\pi/648000)\text{ rad}$;

Tids-enhederne minut (min), time (h) og døgn (d) kan anvendes; men uden brug af decimale over- og underenheder og uden brug af præfikser: $1\text{ min} = 60\text{ s}$; $1\text{ h} = 60\text{ min} = 3600\text{ s}$; $1\text{ d} = 24\text{ h} = 1440\text{ min} = 86400\text{ s}$.

Endelig optræder der enheder, der er defineret ud fra SI-enheder, men ikke er decimale over- eller underenheder af disse.

Skriveregler

De internationale, anførte symboler for enheder bør benyttes. De anbringes efter størrelsens talværdi, og de forandres ikke i flertal, ligesom de ikke efterfølges ikke af et forkortelsespunktum.

Det er en almindelig regel, at symbolerne skrives med små bogstaver, medmindre enhedens navn er afledt af et personnavn, fx: m - meter, kg - kilogram, s - sekund, A - ampere og Pa - pascal.

Når en sammensat enhed dannes ved multiplikation af to eller flere enheder, kan dette angives på følgende måder: N m; N·m.

Når en sammensat enhed dannes ved division af en enhed med en anden, kan dette angives på følgende måder: m/s ; m s^{-1} ; $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ eller $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

For at undgå misforståelser bør der aldrig forekomme mere end én skrå brøkstreg (/) på samme linje, medmindre der anvendes parenteser. I mere komplicerede tilfælde bør der anvendes potenser med negativ eksponent eller parenteser.

Symboler for præfikser skrives uden mellemrum mellem præfikset og enhedssymbolet.

Et præfiks anses for at høre til det enhedssymbol, som følger umiddelbart efter det. Sammen danner de et nyt enhedssymbol, som kan opløftes til potens med positiv eller negativ eksponent. Det nye enhedssymbol kan kombineres med andre enhedssymboler til symboler for sammensatte enheder. Eksempelvis: $1 \text{ cm}^3 = (10^{-2}\text{m})^3 = 10^{-6} \text{ m}^3$; $1 \mu\text{s}^{-1} = (10^{-6} \text{ s})^{-1} = 10^{-6} \text{ s}^{-1}$; $1 \text{ kA/m} = (10^3 \text{ A})/\text{m} = 10^3 \text{ A/m}$.

Sammensatte præfikser må ikke forekomme. Eksempelvis skriver man GPa og hverken ~~kMPa~~ eller ~~MkPa~~.



APPENDIKS – NOTATION

Resultater angives i pågældende SI-enhed, normalt med relevant præfiks i forhold til resultatets betydende cifre. Man kan eventuelt angive resultater i mellemregninger ved brug af såkaldt *Engineering Notation* eller med såkaldt *Scientific Notation*.

Ved *Engineering Notation* skrives resultatet med ét-tre betydende cifre foran decimaltegnet efterfulgt af en 10-potens, der er et multipla af tre, fx $1 \text{ d} = 86,4 \times 10^3 \text{ s}$.

Ved *Scientific Notation* skrives resultatet med netop ét betydende ciffer foran decimaltegnet efterfulgt af den relevante 10-potens, fx $1 \text{ d} = 8,64 \times 10^4 \text{ s}$.

De to notationer er især velegnede til at holde styr på resultatets størrelsesorden under udregningerne. Man kan i den forbindelse omskrive eventuelle præfikser i de opgivne størrelser til 10-potenser. Når resultatet er beregnet, erstatter man 10-potensen med det relevante præfiks.

Alene hvor det inden for fagområdet er gængs praksis at udtrykke en værdi ved brug af et bestemt præfiks, ser man undtagelsesvis resultater udtrykt ved en kombination af SI-systemets præfikser og en af de to notationers brug af 10-potenser.



APPENDIKS – DET GRÆSKE ALFABET

Såvel det latinske som det græske alfabet forudsættes bekendt. Til støtte for de, der ikke har det græske alfabet i hel frisk erindring, gengives det nedenfor.

Alfa	A	α	(A)
Beta	B	β	(B)
Gamma	Γ	γ	(C)
Delta	Δ	δ	(D)
Epsilon	E	ε	(E)
Zeta	Z	ζ	(Z)
Eta	H	η	(Y)
Theta	Θ	θ	
Iota	I	ι	[J]
Kappa	K	κ	(K)
Lambda	Λ	λ	(L)
My	M	μ	(M)
Ny	N	ν	(N)
Ksi	Ξ	ξ	(X)
Omikron	O	\omicron	
Pi	Π	π	(P)
Rho	P	ρ	(R)
Sigma	Σ	σ eller ς	(S)
Tau	T	τ	(T)
Ypsion	Υ	υ	[I]
Fi	Φ	φ	[F]
Chi	X	χ	
Psi	Ψ	ψ	
Omega	Ω	ω	

I parentes er angivet det tilsvarende latinske bogstav. Kantet parentes angiver, at det latinske bogstav ikke svarer nøjagtigt til det græske.

RESUMÉ. Papiret rummer opgaver i Aalborg Universitets kursus Vej- og Trafikteknik, herunder eksempler på eksamensopgaver fra kurset.

NØGLEORD. Vejteknik; Trafikteknik; Opgaver; Eksamen; Aalborg Universitet.

Antal ord: 14209